

rijksuniversiteit gent

laboratorium voor
toegepaste geologie
en hydrogeologie



LTC

geologisch instituut S8
krijgslaan 281
B-9000 gent

telefoon 091-22.57.15

86/74

ETUDE DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU
POTABLE
DES VILLES DE LUBUMBASHI ET DE KAMINA
(SHABA-ZAIRE)

Reconnaissance géologique et hydro-
géologique

LTG

geologisch instituut S8
krijgslaan 281
B-9000 gent

telefoon 091-22.57.15



TRACTEBEL

Etude et rapport : Lic. I. BOLLE
(R.U.G.)

Ir. J. SCHITTEKAT
(S.A. TRACTEBEL)

Rapport n° : TGO 86/74.

Date : octobre 1987.

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	VIII
INTRODUCTION	1
1. GENERALITES SUR L'EXECUTION DES FORAGES	3
1.1. Matériel et personnel de la société de forages	3
1.1.1. Atelier de forage	3
1.1.2. Matériel pour l'exécution et l'équipement des forages	3
1.1.3. Personnel de la société de forage.	4
1.2. Données techniques relatives aux forages	4
1.2.1. Introduction	4
1.2.2. Boue de forage	4
1.2.3. Rectitude et verticalité - déviation	5
1.2.4. Diamètres de forage	5
1.2.5. L'équipement	5
1.2.5.1. Tubages	5
1.2.5.2. Massif de gravier	7
1.2.5.3. Cimentation	7
1.2.5.4. Fermeture	7
1.2.5.5. Développement	7
1.2.6. Essais exécutés	8
1.2.6.1. La description des terrains	8
1.2.6.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil	8
1.2.6.3. Les analyses granulométriques	10
1.2.6.4. L'essai de pompage	10
1.2.6.5. L'essai de sable	11
1.2.6.6. Prélèvement des échantillons de l'eau	11
2. RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE A LUBUMBASHI	13
2.1. Climatologie	13
2.1.1. Climatologie générale	13
2.1.2. Les précipitations	13
2.1.3. Les températures	14
2.2. Géomorphologie	16
2.3. Géologie et lithostratigraphie	16
2.3.1. Généralités	16
2.3.2. Le KUNDELUNGU	22
2.3.3. Le ROAN	24
2.4. Hydrogéologie	25
2.4.1. Généralités	25
2.4.2. Ressources actuellement exploitées par la REGIDESO	25
2.4.3. Analyse systématique des potentialités aquifères	26
2.5. Campagne de forage (17.03.87 - 28.04.87)	29
2.5.1. Introduction	29

II

2.5.2. Forage à KARAVIA	29
2.5.3. Forage au CAMPUS	48
2.5.4. Forage à KAFUBU	67
2.6. Conclusions	86
3. RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE A KAMINA	89
3.1. Climatologie	89
3.2. Reliéf et géomorphologie	90
3.3. Géologie	90
3.4. Hydrogéologie	91
3.4.1. Ressources actuellement exploitées	91
3.4.2. Analyse des potentialités aquifères	92
3.5. Synthèse et conclusions de la reconnaissance géoélectrique	92
3.6. Campagne de forage (23.05.87-04.07.87)	97
3.6.1. Introduction	97
3.6.2. Forage KAMINA I	97
3.6.3. Forage KAMINA II	118
3.6.4. Forage KAMINA III	136
3.7. Conclusions	156
4. CONCLUSION GENERALE	158
BIBLIOGRAPHIE	160

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Situation des villes de LUBUMBASHI et de KAMINA.
- Figure 2 : Coupe technique schématisée.
- Figure 3 : Carte géologique - LUBUMBASHI.
- Figure 4 : Carte géologique - LUBUMBASHI-Nord.
- Figure 5 : Carte géologique - LUBUMBASHI-Sud.
- Figure 6 : Situation du forage à KARAVIA.
- Figure 7 : Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage à KARAVIA.
- Figure 8 : KARAVIA - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 17,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 9 : KARAVIA - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 17,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 10 : KARAVIA - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 36,3 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 11 : KARAVIA - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 36,3 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 12 : KARAVIA - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 72,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 13 : KARAVIA - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 72,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 14 : KARAVIA - Courbe débits/rabattements
- Figure 15 : KARAVIA - Courbe $s/Q = f(Q)$.
- Figure 16 : KARAVIA - Classification selon la méthode de Piper.
- Figure 17 : Situation du forage au CAMPUS.
- Figure 18 : Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage au CAMPUS.
- Figure 19 : CAMPUS - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 19,0 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 20 : CAMPUS - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 19,0 \text{ m}^3/\text{h}$).

IV

- Figure 21 : CAMPUS - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 65,5 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 22 : CAMPUS - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 65,5 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 23 : CAMPUS - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 132,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 24 : CAMPUS - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 132,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 25 : CAMPUS - Courbe débits/rabattements
- Figure 26 : CAMPUS - Courbe $s/Q = f(Q)$.
- Figure 27 : CAMPUS - Classification selon la méthode de Piper.
- Figure 28 : Situation du forage à KAFUBU.
- Figure 29 : Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage à KAFUBU.
- Figure 30 : KAFUBU - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 59,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 31 : KAFUBU - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 59,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 32 : KAFUBU - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 106,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 33 : KAFUBU - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 106,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 34 : KAFUBU - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 186,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 35 : KAFUBU - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 186,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 36 : KAFUBU - Courbe débits/rabattements
- Figure 37 : KAFUBU - Courbe $s/Q = f(Q)$.
- Figure 38 : KAFUBU - Classification selon la méthode de Piper.
- Figure 39 : KAMINA - Carte des zones géophysiques, des forages et des anciens captages.
- Figure 40 : Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage KAMINA I.

- Figure 41 : Courbe granulométrique de l'échantillon A (KAMINA I).
- Figure 42 : KAMINA I - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 7,1 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 43 : KAMINA I - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 7,1 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 44 : KAMINA I - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 20,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 45 : KAMINA I - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 20,6 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 46 : KAMINA I - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 46,4 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 47 : KAMINA I - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 46,4 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 48 : KAMINA I - Courbe débits/rabattements
- Figure 49 : KAMINA I - Courbe $s/Q = f(Q)$.
- Figure 50 : KAMINA I - Classification selon la méthode de Piper.
- Figure 51 : Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage KAMINA II.
- Figure 52 : KAMINA II - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 21,7 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 53 : KAMINA II - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 21,7 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 54 : KAMINA II - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 38,3 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 55 : KAMINA II - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 38,3 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 56 : KAMINA II - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 63,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 57 : KAMINA II - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 63,2 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 58 : KAMINA II - Courbe débits/rabattements
- Figure 59 : KAMINA II - Courbe $s/Q = f(Q)$.

- Figure 60 : KAMINA II - Classification selon la méthode de Piper.
- Figure 61 : Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage KAMINA III.
- Figure 62 : Courbe granulométrique de l'échantillon A (KAMINA III).
- Figure 63 : KAMINA III - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 6,81 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 64 : KAMINA III - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 6,81 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 65 : KAMINA III - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 18,93 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 66 : KAMINA III - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 18,93 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 67 : KAMINA III - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 36,44 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 68 : KAMINA III - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 36,44 \text{ m}^3/\text{h}$).
- Figure 69 : KAMINA III - Courbe débits/rabattements
- Figure 70 : KAMINA III - Courbe $s/Q = f(Q)$.
- Figure 71 : KAMINA III - Classification selon la méthode de Piper.

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Figurés lithologiques
- Tableau 2 : Recommandations pour la potabilité de l'eau imposées par l'OMS (1984).
- Tableau 3 : Précipitations - LUBUMBASHI et KISANGA (en mm).
- Tableau 4 : Températures à LUBUMBASHI et à KISANGA
- Tableau 5 : Lithostratigraphie et hydrogéologie dans la région de LUBUMBASHI.
- Tableau 6 : Essai de pompage KARAVIA - Résultats des mesures effectuées sur le terrain.
- Tableau 7 : KARAVIA - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier.
- Tableau 8 : KARAVIA - Analyse chimique de l'eau de la nappe du calcaire de KAKONTWE.
- Tableau 9 : KARAVIA - Classification selon la méthode de PIPER.
- Tableau 10 : Essai de pompage CAMPUS - Résultats des mesures effectuées sur le terrain.
- Tableau 11 : CAMPUS - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier.
- Tableau 12 : CAMPUS - Analyse chimique de l'eau de la nappe du calcaire de KAKONTWE.
- Tableau 13 : CAMPUS - Classification selon la méthode de PIPER.
- Tableau 14 : Essai de pompage KAFUBU - Résultats des mesures effectuées sur le terrain.
- Tableau 15 : KAFUBU - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier.
- Tableau 16 : KAFUBU - Analyse chimique de l'eau de la nappe du calcaire de KAKONTWE.
- Tableau 17 : KAFUBU - Classification selon la méthode de PIPER.
- Tableau 18 : Précipitations et températures à la base de KAMINA.

VIII

- Tableau 19 : Résultats de l'analyse granulométrique KAMINA I - échantillon A (fraction < 2 mm) (analyse au laboratoire).
- Tableau 20 : Essai de pompage KAMINA I - Résultats des mesures effectuées sur le terrain.
- Tableau 21 : KAMINA I - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier.
- Tableau 22 : KAMINA I - Analyse chimique de l'eau de la nappe infragrèseuses et infragranitique.
- Tableau 23 : KAMINA I - Classification selon la méthode de PIPER.
- Tableau 24 : Essai de pompage KAMINA II - Résultats des mesures effectuées sur le terrain.
- Tableau 25 : KAMINA II - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier.
- Tableau 26 : KAMINA II - Analyse chimique de l'eau de la nappe infragrèseuses et infragranitique.
- Tableau 27 : KAMINA II - Classification selon la méthode de PIPER.
- Tableau 28 : Résultats de l'analyse granulométrique KAMINA III - échantillon A (fraction < 2 mm) (analyse au laboratoire).
- Tableau 29 : Essai de pompage KAMINA III - Résultats des mesures effectuées sur le terrain.
- Tableau 30 : KAMINA III - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier.
- Tableau 31 : KAMINA III - Analyse chimique de l'eau de la nappe calcaire infragrèseuses et infragranitique.
- Tableau 32 : KAMINA III - Classification selon la méthode de PIPER.

INTRODUCTION

L'association CIBE/TRACTIONEL-ELECTROBEL ENGINEERING a été chargé par la REGIE DE DISTRIBUTION D'EAU DE LA REPUBLIQUE DU ZAIRE (REGIDESO) d'élaborer une étude de l'approvisionnement en eau potable des villes de LUBUMBASHI et de KAMINA (fig. 1) afin d'y améliorer et d'y agrandir le réseau existant.

La partie hydrogéologique de cette étude consistait dans une première phase de rassembler les données géologiques existantes et de l'interprétation des photos aériennes. Tenant compte des résultats de cette première phase plusieurs zones ont été retenues afin d'y exécuter des mesures géo-électriques (deuxième phase - été 1986).

Après l'interprétation des résultats obtenus et tenant compte des considérations d'ordre économique, six endroits (trois à LUBUMBASHI et trois à KAMINA) ont été retenus pour l'exécution de forages de reconnaissance avec essais de pompage et analyses chimique de l'eau souterraine (troisième phase-printemps 1987).

Les six forages ont été exécutés en sous-traitance par la firme MPELEMBE DRILLING COMPANY LIMITED de LUANSHYA (ZAMBIE).

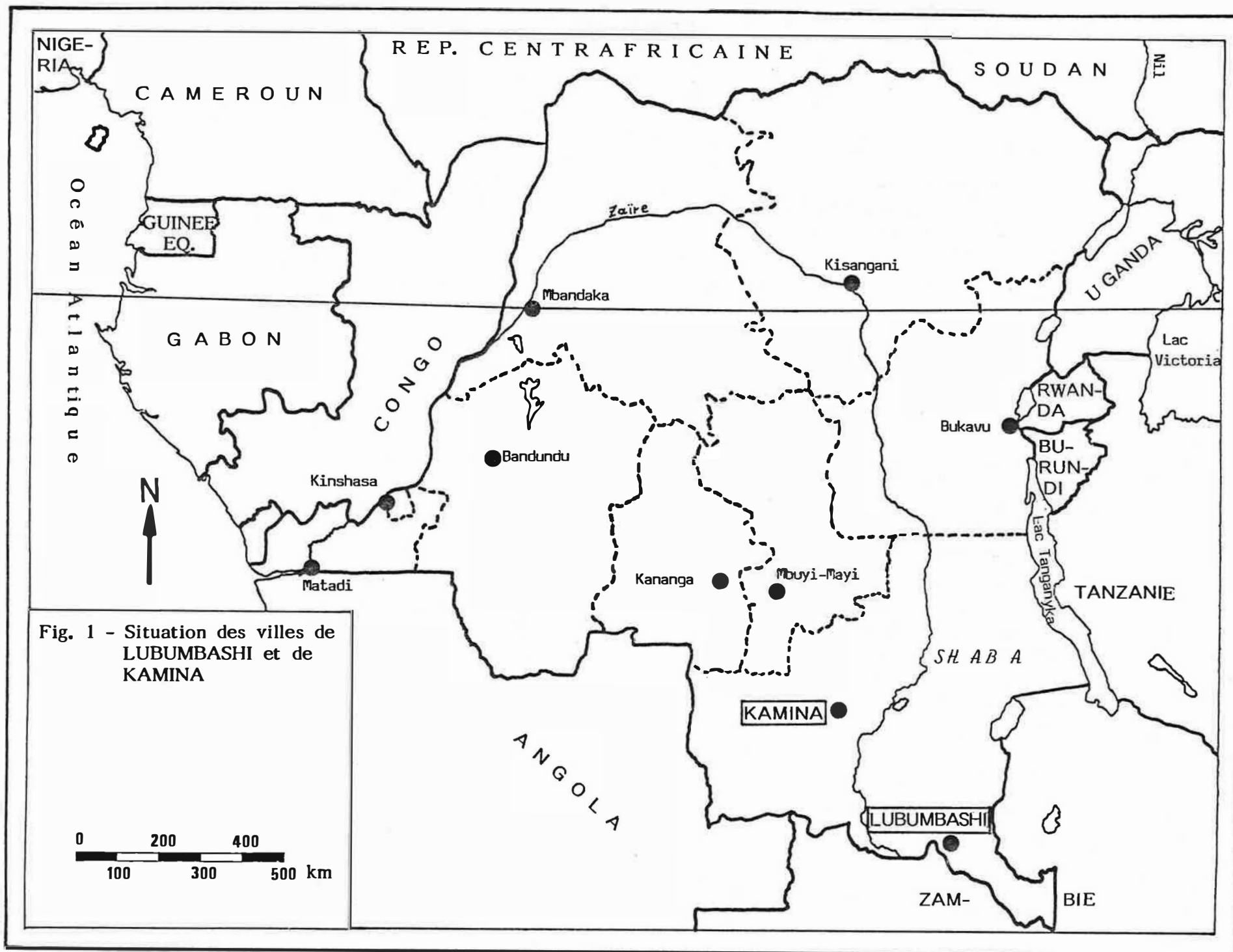


Fig. 1 - Situation des villes de LUBUMBASHI et de KAMINA

1. GENERALITES SUR L'EXECUTION DES FORAGES

1.1. MATERIEL ET PERSONNEL DE LA SOCIETE DE FORAGES

1.1.1. Atelier de forage

Le matériel employé était celui type pour les forages en rotary :

- une foreuse SCHRAMM T 685 H montée sur camion GM avec accessoires tels que pompe de boue, pompe d'écume, compresseur et équipement de soudure;
- camion MERCEDES 4 x 4 avec 2 citernes de 1000 litres chaque;
- camion MITSUBISHI pour transports divers;
- vanette MITSUBISHI;
- LANDROVER 4 x 4;
- Monopompe "NEMITSAS" avec colonnes;
- Génératrice "BRUSH".

1.1.2. Matériel pour l'exécution et l'équipement des forages

Le matériel pour l'exécution et l'équipement des forages a été importé de la Zambie. Il consiste :

- pour l'exécution :
 - d'un tricone 16 1/2"
 - d'un tricone 12 1/4"
 - d'un marteau fond de trou 12"
 - d'un marteau fond de trou 8"
- pour l'équipement :
 - des tubes en acier Ø 18", longueur 6 m
 - des tubes en acier Ø 14", longueur 6 m
 - des tubes en acier Ø 8", longueur 6 m
 - des crépines en acier Ø 8"; les fentes ont été exécutées au chalumeaux.

1.1.3. Personnel de la société de forages

Le personnel Zambien en permanence sur place était constitué de :

- un chef de chantier-soudeur (avec adjoint dès le troisième forage)
- deux chefs de poste
- un chef mécanicien

Le personnel était complété par :

- deux mécaniciens
- deux chauffeurs
- une dizaine d'ouvriers et manoeuvres.

1.2. DONNEES TECHNIQUES RELATIVES AUX FORAGES

1.2.1. Introduction

Les trois forages à LUBUMBASHI captent la nappe du "calcaire de KAKONTWE"; les trois forages à KAMINA exploitent soit la nappe gréseuse, soit la nappe granitique soit les deux nappes ensembles.

La méthode d'exécution des forages est décrite dans le contrat de sous-traitance entre la S.A. TRACTEBEL et la MPELEMBE DRILLING Cie.

1.2.2. Boue de forage

Seulement les trois forages à KAMINA ont été exécutés par le procédé rotary au tricône à la boue bentonitique ou au revert jusqu'au toit du granit non altéré.

Les trois forages à LUBUMBASHI ont été exécutés par le procédé rotary au tricône à la mousse jusqu'au toit de la dolomie.

1.2.3. Rectitude et verticalité - déviation

La mesure de la rectitude et de la verticalité n'a pas été faite par l'entreprise. Néanmoins la déviation a été minimisée en contrôlant continuellement la pression sur l'outil.

1.2.4. Diamètres de forage (fig. 2.)

Les diamètres successifs de forage étaient :

- 16 1/2" pour la première phase, foré en principe jusqu'au toit de la roche dure.
- 12" ou 12 1/4" pour la deuxième phase, foré jusqu'à la profondeur finale.

1.2.5. L'équipement (fig. 2)

Il y a lieu de distinguer :

- les tubages
- le massif de gravier
- la cimentation
- la fermeture.

1.2.5.1. Tubages

L'équipement d'un forage présentait en principe les caractéristiques suivantes :

- tube guide Ø 18", enfoncé dans le sol entre 0 et 6 m. Il est évacué après le forage.
- tubage Ø 14" placé dans le trou 16 1/2" et cimenté sur une hauteur d'environ 6 m.
- tubage d'exhaure Ø 8" à partir de la roche dure jusqu'au sommet des crépines de production.
- tubage crépiné en Ø 8", ouverture 2 à 4 mm, 7 %.
- tubage de décantation en Ø 8" venant sous les crépines de production et ayant une longueur entre 0,5 et 6 m.

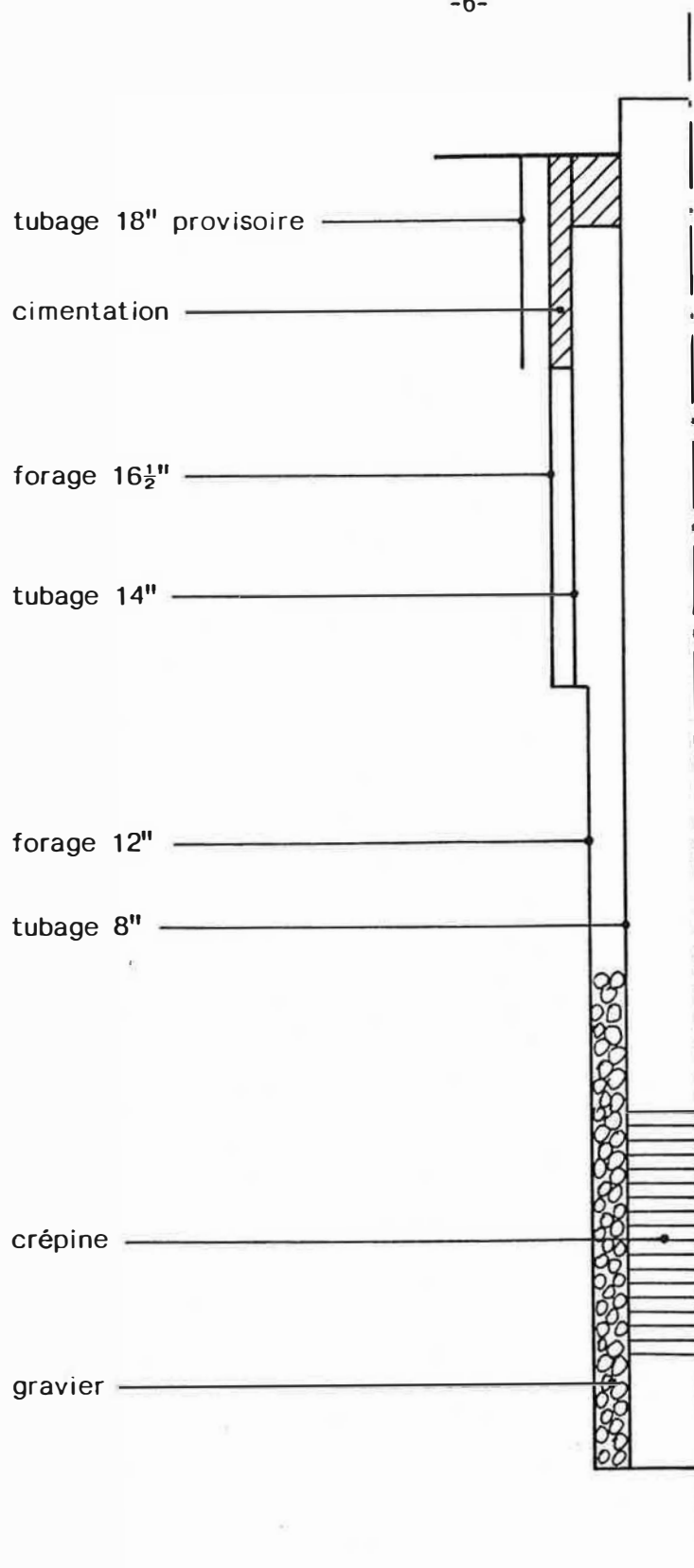


Fig. 2 - Coupe technique schématisée.

1.2.5.2. Massif de gravier

Chaque fois un massif de gravier a été mis en place.

A LUBUMBASHI le massif de gravier était composé de calcaire venant de la mine de KIPUSHI. La qualité était médiocre (calcaire; degré d'arrondissement faible).

A KAMINA un gravier granitique a été utilisé venant d'une carrière abandonnée.

Avant la mise en place du gravier, réalisée par gravité, celui-ci a été tamisé et lavé.

Le volume de gravier à mettre en place a été calculé à partir de l'estimation du diamètre du trou, augmenté d'une marge de sécurité (environ 5 m au dessus de la crépine de production).

1.2.5.3. Cimentation

L'espace annulaire entre les tubes de 14" et le trou de 16 1/2" a été cimenté sur une hauteur d'environ 6 m.

1.2.5.4. Fermeture

Tous les forages ont été fermés à l'aide d'un pas de vis inverse.

1.2.5.5. Développement

Le développement a été faite d'abord à l'air-lift ensuite par pompage.

Les trois forages à KAMINA réalisés à la boue bentonitique ou au revert nécessitaient un développement comportant un ou plusieurs lavages avec une solution de soude caustique.

Dès que le résultat était jugé satisfaisant (eau claire, plus ou moins exempte de sable) l'essai de pompage a été réalisé.

Pour le cas du forage à LUBUMBASHI-CAMPUS l'eau est restée très sale après plus de 133 heures de développement.

1.2.6. Essais exécutés

Parmi les essais exécutés on distingue :

- la description des terrains
- l'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil
- les analyses granulométriques.

Après l'équipement les caractéristiques de la nappe captée ont été déterminées par :

- un essai de pompage
- une analyse chimique de l'eau.

1.2.6.1. La description des terrains

Après chaque mètre de forage un échantillon des cuttings a été prélevé. Ces échantillons ne furent pas lavés et faisaient l'objet d'une description macroscopique sur le terrain avant d'être rendus au REGIDESO-LUBUMBASHI et REGIDESO-KAMINA.

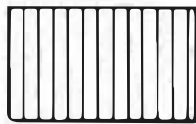
Le tableau 1 donne les figurés lithologiques.

1.2.6.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil

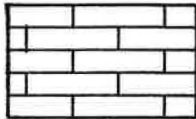
L'avancement de l'outil était enregistré sur toute la hauteur du forage par le géologue ou par le chef de poste foreur qui marquait pour chaque mètre le temps de forage.

Ce paramètre, bien que lié à plusieurs facteurs humains et techniques non contrôlables, permet de se faire une idée approximative des unités lithologiques distinctes telles que:

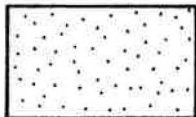
- latérite et dolomie
- les vides et les zones altérées dans la dolomie
- sable et grès
- granit altéré et granit dur



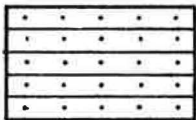
latérite



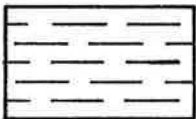
dolomie



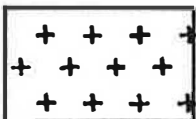
sable très fin à fin



grès



argile



granite

Tableau 1 - Figurés lithologiques.

Combiné avec l'analyse des cuttings, il nous permettait de déterminer en première approximation les zones de captages. Pour chaque site une figure donnant l'avancement de l'outil, la lithologie et la coupe technique du forage a été établie.

1.2.6.3. Les analyses granulométriques

Au Laboratoire de Géologie Appliqué et Hydrogéologie de l'Université de GAND deux échantillons du sable KALAHARIEN (forage KAMINA I et forage KAMINA III) ont été analysés.

1.2.3.5. L'essai de pompage

A chaque site un essai de pompage a été exécuté; il comportait trois paliers de pompage. Les paliers avaient théoriquement les débits $Q/4$, $Q/2$ et Q avec Q = débit maximum possible.

La descente et la remontée du niveau d'eau pendant les paliers ont été mesurés dans la chambre de pompage. Les mesures ont été poursuivies jusqu'à la stabilisation du niveau.

L'entreprise disposait d'une pompe immergée capable de fournir un débit maximum d'environ 50 l/s. Le débit a été mesuré par empotement dans un fût de 2073 l ou un fût de 220 l. Le niveau de l'eau a été mesuré dans la chambre de pompage à l'aide d'une sonde électrique.

Pour chaque forage on a établi :

- un tableau représentant les mesures effectuées pendant l'essai de pompage
- un tableau illustrant la performance de l'ouvrage (débit spécifique).
- la courbe $s = f(Q)$ dite courbe caractéristique du forage.
- les courbes $s = f(t)$ (rabattement) et $s = f(t/t')$ (remontée) avec l'évaluation de la transmissivité
- la courbe $s/Q = f(Q)$; dans la pratique cette courbe répond à l'équation $s/Q = B + CQ^{n-1}$ (en première approximation on peut mettre $n = 2$).

Le pourcentage des pertes de charge dû à l'écoulement laminaire est donné par l'expression :

$$\frac{BQ}{BQ + CQ^2} \cdot 100 \quad (\text{DRISCOLL, 1986})$$

1.2.6.5. L'essai de sable

La contenance en matière solide dans un échantillon d'eau d'environ 1 l a été contrôlée régulièrement pendant le développement et l'essai de pompage. L'eau était considérée claire quand elle ne contenait plus de traces visibles de matière solide.

Au site LUBUMBASHI-CAMPUS l'eau était toujours très chargée (argile, limon) après un développement de plus de 133 heures.

1.2.6.6. Prélèvement des échantillons de l'eau.

A la fin de l'essai de pompage deux échantillons de l'eau d'environ 1 l chaque ont été pris. L'analyse chimique a été exécutée à BRUXELLES.

Pour chaque site une analyse complète a été faite.

La classification des eaux est basée sur la méthode de PIPER. Une comparaison est faite avec les recommandations pour la potabilité de l'eau imposées par L'OMS (1984) (tableau 2).

Tableau 2 - Recommandations pour la potabilité de l'eau imposées par l'OMS (1984)

Elément	Valeur recommandée
pH	6,5 - 8,5
TH (mg/l CaCO ₃)	500
Cl (mg/l)	250
SO ₄ (mg/l)	400
NO ₃ (mg/l)	10
NH ₄ (mg/l)	0,05*
Fe (mg/l)	0,3
Mn (mg/l)	0,1
NO ₂ (mg/l)	50*
Ca (mg/l)	75*
Mg (mg/l)	125
Na (mg/l)	200
Al (mg/l)	0,2
Pb (mg/l)	0,05
Cd (mg/l)	0,005
Cu (mg/l)	1,0
As (mg/l)	0,05
Cr (mg/l)	0,05
Zn (mg/l)	5
Se (mg/l)	0,01

* Valeur recommandée de 1971.

2. RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE A LUBUMBASHI

2.1. CLIMATOLOGIE

La climatologie est un aspect important de l'hydrogéologie. Ce sont en effet les précipitations qui régissent l'infiltration. Pour obtenir le volume des eaux infiltrées, il faut retrancher les eaux ruisselées et les eaux évapotranspirées. L'évapotranspiration peut être estimée à partir de données climatologiques telles que la température.

2.1.1. Climatologie générale

L'alternance saison des pluies et saison sèche est la principale caractéristique climatologique de la région. La saison des pluies commence en septembre et s'achève en avril.

Les températures moyennes mensuelles sont toujours situées entre 17 et 24°. La moyenne mensuelle des minima peut descendre à 8° en juin-juillet. La moyenne des maxima atteint 32° au début de la saison des pluies.

A la saison sèche, les vents viennent de l'Est, Sud-Est. Les vents sont assez forts, 40 km/h en moyenne avec des pointes à 140 km/h. A la saison des pluies, le régime est inversé, les vents viennent du WNW et du WSW avec une vitesse moyenne de 20 km/h et des pointes de 35 km/h.

La hauteur d'eau tombée annuellement dans la région de LUBUMBASHI est de 1250 mm.

2.1.2. Les précipitations

On dispose des précipitations mensuelles relevées à LUBUMBASHI entre 1957 et 1986 et à KISANGA (10 km au Sud-Ouest de LUBUMBASHI) entre 1980 et 1985.

On retiendra la valeur moyenne, le cycle hydrologique le plus sec de 3 années consécutives (1971 - 1974) et les précipitations des 7 dernières années à LUBUMBASHI et des 5 dernières

années à KISANGA.

Ces valeurs sont reprises dans le tableau 3.

2.1.3. Les températures

On dispose des températures moyennes mensuelles minimales, maximales et moyennes à LUBUMBASHI ainsi que de ces températures de 1980 à 1985 à KISANGA (10 km au Sud Ouest de LUBUMBASHI).

Les valeurs de LUBUMBASHI et les valeurs moyennes à KISANGA sont reprises dans le tableau 4.

Tableau 4 - Températures à LUBUMBASHI et à KISANGA

LUBUMBASHI Moyenne 10 ans				KISANGA Moyennes mensuelles : T_{moy}				
	T_{max}	T_{moy}	T_{min}	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85
Août	27.8	19.3	10.8	18.3	19.2	18.0	18.4	17.5
Septembre	30.7	22.4	14.1	22.6	20.8	21.0	21.3	21.3
Octobre	31.9	24.1	16.3	23.0	24.2	23.0	23.3	22.2
Novembre	28.7	22.9	17.1	23.5	24.5	22.8	24.4	22.9
Décembre	26.9	21.9	16.9	22.8	23.1	24.9	22.7	21.5
Janvier	26.7	21.9	17.0	22.4	22.6	23.1	22.3	22.2
Février	26.7	21.8	16.9	22.5	22.8	22.6	22.0	21.0
Mars	27.0	21.8	16.6	22.9	22.4	22.8	23.3	22.6
Avril	27.5	21.5	15.4	22.3	20.3	21.6	22.2	20.7
Mai	26.9	19.5	12.0	18.6	17.9	18.2	20.4	18.6
Juin	5.0	17.1	9.2	16.8	15.7	16.0	17.9	16.4
Juillet	5.2	16.9	8.5	15.4	15.0	15.5	17.5	16.2

Tableau 3 - Précipitations - LUBUMBASHI et KISANGA (en mm).

MOIS	VALEUR MOYEN. 29 ans	LES 3 ANNEES LES PLUS SECHES			LUBUMBASHI : 1979/1986							KISANGA				
		71/72	72/73	73/74	79/80	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85	85/86	80/81	81/82	82/83	83/84	84/85
A	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	3,0	12,2	4,1	21,5	0	2,8	0	0	0	0	0	8,6	0	0	0	1,7
O	42,8	44,2	67,8	10,1	39,1	138,5	5,0	114,5	35,3	47,0	23,8	59,8	7,2	82,9	57,0	22,7
N	158,7	192,3	215,2	119,6	333,4	146,8	119,4	309,8	87,4	125,4	86,1	149,4	100,2	301,7	124,0	160,7
D	267,6	206,8	169,9	170,1	309,6	178,2	255,4	328,3	310,1	265,0	296,5	244,4	232,5	145,2	325,8	308,3
J	275,5	271,2	161,4	259,1	220,4	175,4	287,8	210,5	255,0	254,0	116,6	252,8	321,8	181,3	208,2	199,9
F	239,9	189,6	227,3	203,6	219,1	84,9	192,2	237,6	263,8	143,3	244,1	193,8	309,0	223,1	229,0	219,3
M	206,2	214,7	104,7	168,2	169,1	237,6	80,5	44,2	191,2	354,9	205,0	171,6	99,4	64,9	190,9	151,4
Av.	57,0	11,4	37,5	72,0	90,2	71,2	148,1	84,5	9,4	78,0	60,0	55,6	93,3	67,8	0,4	79,3
Mai	7,2	3,6	0	63,6	0	0	23,9	2,8	0	0	0,0	0	16,5	3,4	0	20,7
J	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,0	0	0	0	0	0
Jlt	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0
TOTAL	1259,1	1146,0	987,9	1087,8	1380,9	1035,4	1112,3	1332,2	1152,2	1267,6	1039,1	1136,0	1179,9	1070,3	1135,0	1155,0

2.2. GEOMORPHOLOGIE

La région de LUBUMBASHI (longitude 27°29'E, latitude 11°41'S) est constituée d'un vaste plateau recouvert de savanne boisée. De la cote (1300) au Nord-Ouest, il s'abaisse vers le Sud-Est à la cote (1175), 25 km au Sud-Est de la ville.

Le plateau est traversé par deux alignements de collines du ROAN, constitué de tillite, dolomie et schistes durs, de part et d'autre de la ville et de direction NWW-SEE.

Le plateau est drainé par la KAFUBU et ses affluents. Elle s'écoule vers le sud-est.

2.3. GEOLOGIE ET LITHOSTRATIGRAPHIE (tableau 5)

2.3.1. Généralités

La région de LUBUMBASHI est caractérisée par trois structures majeures, qui sont d'Ouest en Est (fig. 3 à 5)

- . l'anticlinal de LUPUTO,
- . le synclinal de LUBUMBASHI,
- . l'anticlinal de RUASHI-l'ETOILE.

Elles font partie du système de plis dont l'ensemble constitue l'axe plissé du SHABA. L'axe des plis est orienté NW-SE. Chaque pli est microplissé et faillé par des accidents orientés NW-SE.








Les formations du KATANGIEN d'âge précambrien, dont le recouvrement d'altération varie entre 0 et 70 m, sont subdivisées en trois unités :




- . KUNDELUNGU Supérieur,
- . KUNDELUNGU Inférieur,
- . ROAN.














Ces trois unités sont séparées par des tillites :

- . le ROAN et le KUNDELUNGU Inférieur par la tillite du grand

Tableau 5 - Lithostratigraphie et hydrogéologie dans la région de LUBUMBASHI.

			GROUPE	FORMATION	NIVEAU	Hydrogéologie
KATANGIEN (précambrien)	KUNDELUNGU	KUNDELUNGU supérieur	KS 1 Faisceau de KALULE	KS 1.3.		
				KS 1.2.	KS 1.2.2. KS 1.2.1. "Calcaire rose"	
				KS 1.1. "Petit conglomérat"		
		KUNDELUNGU inférieur	Ki 2 Faisceau de MONWEZI	Ki 2.2.		
				Ki 2.1.		
			Ki 1 Faisceau de LIKASI - LUBUMBASHI	Ki 1.3.		
				Ki 1.2.	Ki 1.2.3. "Dolomie de KIPUSHI" Ki 1.2.2. "Calcaire de KAKONTWE" Ki 1.2.1. "Dolomie de KAPONDA"	
				Ki 1.1. "Grand conglomérat"		
	ROAN		R 4 Faisceau de MWASHYA	R 4.2. MWASHYA sup.		
				R 4.1. MWASHYA inf.		
			R 3 Faisceau de DIPETA			
			R 2 Faisceau des Mines			
			R 1 Faisceau R.A.T.			

-  perméabilité bonne
 perméabilité faible
 imperméable

REGIDESO			
	ROUTE	<u>MWASHIA</u>	
	PISTE	R 4.1	DOLOMIE ALTEREE EN ROCHE SILICEUSE
	PISTE	R 4.2	SHALE GRESEUX, BANDE D'ARKOSE
	RIVIERE	<u>KUNDELUNGU INFERIEUR</u>	
	ZONE D'HABITATION	KI 1.1	GRAND CONGLOMERAT (TILLITE A ELEMENTS POLYGENIQUES)
	CHEMIN DE FER	KI 1.2.2	DOLOMIE CALCAREUSE (CALCAIRE DE KAKONTWE)
	LIGNE HAUTE TENSION	KI 1.3	SCHISTE MICROGRESEUX
	FAILLE CARTE GEOLOGIQUE	KI 2.2	SCHISTE GRESEUX
	LINEAMENT (FAILLE PHOTO AERIENNE)	<u>KUNDELUNGU SUPERIEUR</u>	
	SONDAGE ELECTRIQUE	KS 1.1	PETIT CONGLOMERAT : TILLITE
		KS 1.2	SCHISTE ET DOLOMIE
		KS 1.3	SCHISTE GRESEUX
	FORAGE DE RECONNAISSANCE		
	CALCAIRE DE KAKONTWE AQUIFERE		

LEGENDE GENERALE DES FIGURES 3 à 6, 17 ET 28

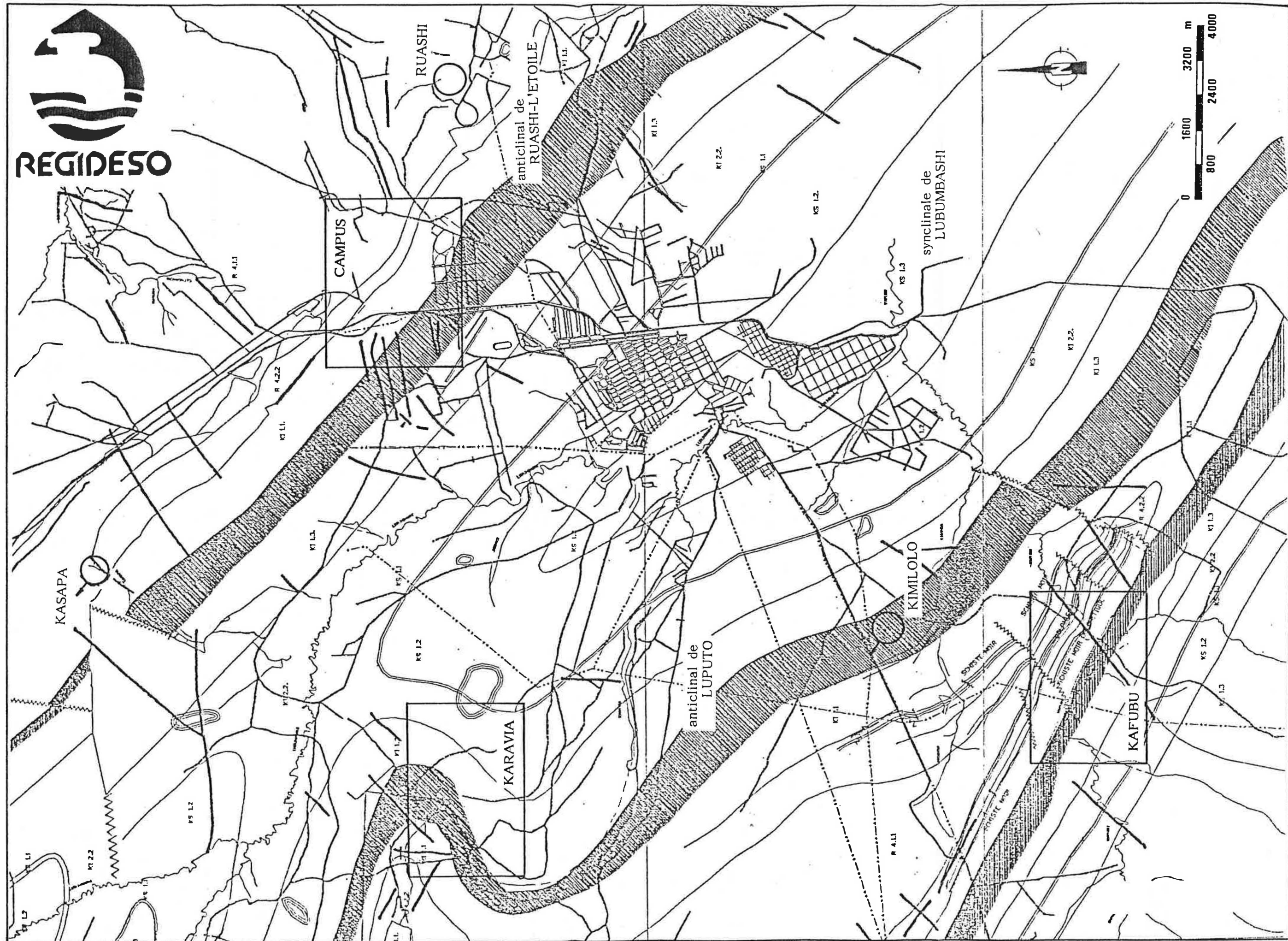


Fig. 3 - Carte géologique. - LUBUMBASHI



Fig. 4 - Carte géologique - LUBUMBASHI Nord.

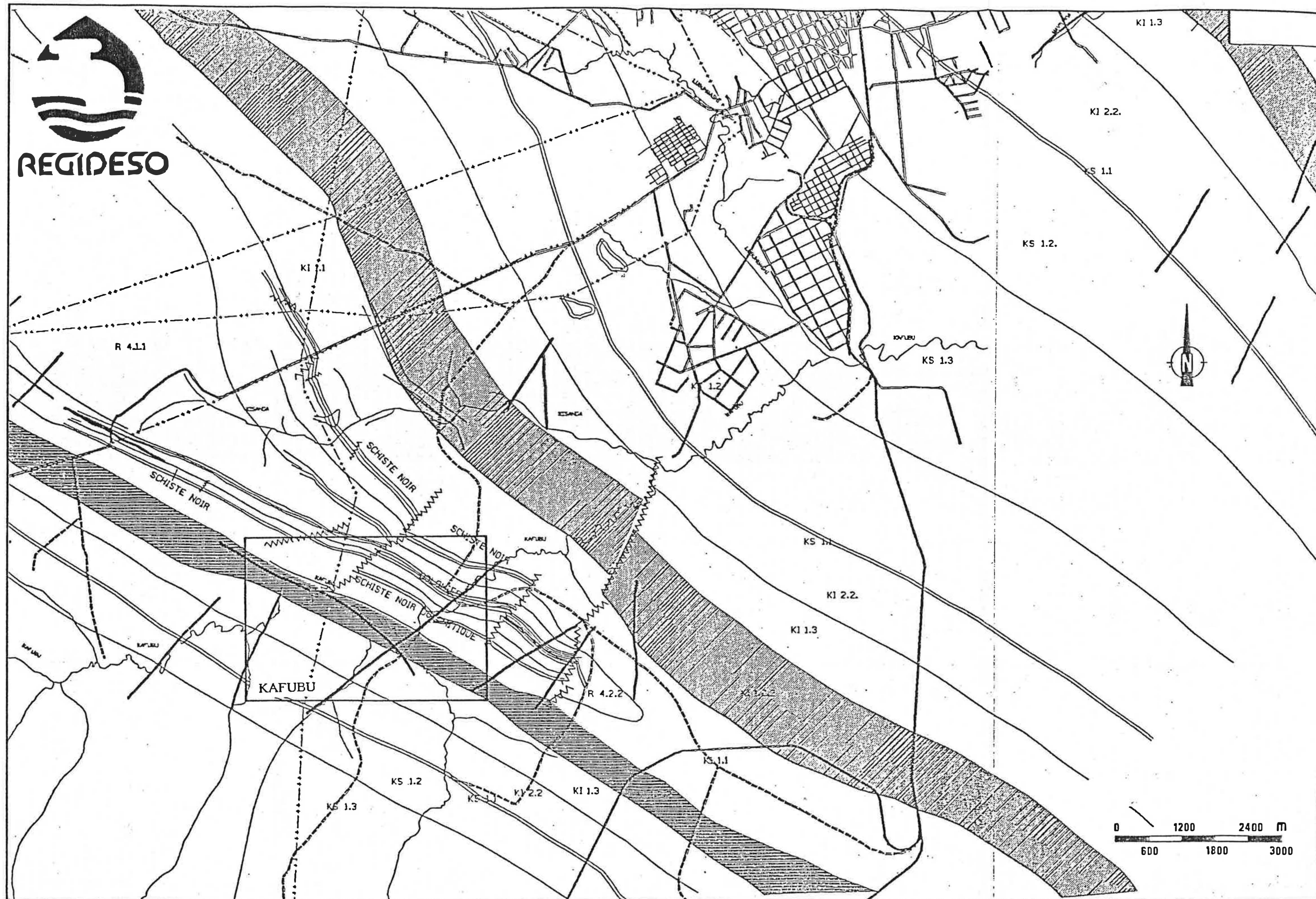


Fig. 5 - Carte géologique - LUBUMBASHI Sud.

conglomérat,

- . le KUNDELUNGU Inférieur et le KUNDELUNGU Supérieur par la tillite du petit conglomérat.

Les unités sont décrites en détail ci-après en mettant l'accent sur la perméabilité des formations.

Les formations du KATANGIEN reposent sur un ensemble plus ancien : le KIBARIEN fortement plissé et métamorphosé.

2.3.2. Le KUNDELUNGU

Le KUNDELUNGU qui représente l'essentiel de la géologie du SHABA donne lieu à des hauts plateaux pénéplanés. Le synclinal de LUBUMBASHI, au droit duquel se trouve la ville est constitué des formations du KUNDELUNGU.

A. Le KUNDELUNGU supérieur est subdivisé en trois faisceaux ou groupes :

- le faisceau des plateaux et le faisceau de KIUBO, tous deux non représentés dans la région de LUMBUMBASHI,
- le faisceau de KALULE, réparti en :

- . KS 13 constitué d'alternances de schistes gréseux et de grès argileux, avec des passées d'arênites au sommet. Par sa teneur élevée en argile, ce niveau est imperméable.

- . KS 12 comprenant deux niveaux, l'un carbonaté à la base et l'autre terrigène au sommet :

- KS 122 - niveau supérieur.

Il est constitué à la base par une arênite grossière, ensuite par dessus d'une alternance d'arênite micacée, chloriteuse feldspathique dolomitico calcaireuse et de schiste gréseux.

Le KS 122 est susceptible de présenter une perméabilité relativement bonne en grand le long des plans de stratification et de cassure.

- KS 121 - niveau inférieur : "Calcaire rose"

Il est en fait une dolomie calcareuse impure, d'épaisseur décamétrique. La perméabilité est bonne, il s'agit d'une perméabilité en grand le long des cassures élargies par la dissolution.

. KS 11 "Petit conglomérat"

Le "petit conglomérat" est une tillite à éléments dolomitiques et quartzeux, dans une pâte grés argileuse. Son épaisseur est d'une trentaine de mètres. Il est imperméable.

B. Le KUNDELUNGU inférieur (Ki) est divisé en deux faisceaux ou groupes;

- le faisceau de LIKASI - LUBUMBASHI (Ki 1) et le faisceau de MONWEZI (Ki 2).

- le faisceau de MONWEZI (Ki 2) est réparti en :

. Ki 22 : formation supérieure, constituée de schistes gréseux à argilo gréseux avec d'épais bancs de grès fins feldspathiques. La formation est peu perméable.

. Ki 21 : alternance de schistes et de dolomies massives, la dolomie disparaissant dans le tiers supérieur. L'ensemble est très faiblement perméable.

- le faisceau de LIKASI-LUBUMBASHI (Ki 1) est subdivisé en 3 formations :

. Ki 13 : formation supérieure, constituée de schistes microgréseux rouges. La perméabilité est faible.

. Ki 12 : formation de nature essentiellement dolomitique.

Le Ki 12 comprend trois niveaux :

- Niveau supérieur - Ki 123 "dolomie de KIPUSHI" généralement rattaché au niveau qui lui est sous-jacent.

- Niveau moyen - Ki 122 "calcaire de KAKONTWE".

Il s'agit d'une dolomie finement grenue, calcareuse (20 %) dans sa partie supérieure, ayant subi d'importants phénomènes de dissolution qui se marquent par des dolines et poljés en surface.

Les phénomènes de dissolution ont largement ouvert

les discontinuités; il en résulte une perméabilité en grand considérable.

- Niveau inférieur - Ki 121 "dolomie de KAPONDA".

Il s'agit de dolomie finement litée et de dolomie massive. Fissurée, elle présente une légère perméabilité.

. Ki 11 : "grand conglomérat". C'est une tillite à éléments non classés polygéniques de quartzites, quartz, gneiss, dolérites et dolomies siliceuses. La matrice est argilo-gréseuse.

L'épaisseur moyenne vaut 300 m. Le Ki 11 n'est que très faiblement perméable.

2.3.3. Le ROAN

Le ROAN, dans lequel on trouve les gisements de cuivre-cobalt est généralement constitué de roches de précipitation ou organogènes dolomitiques, plus ou moins détritiques. Il marque le relief par des collines et une morphologie accidentée dont notamment les alignements de collines orientés NWW-SEE de part et d'autre de LUBUMBASHI.

Le ROAN est subdivisé en 4 faisceaux :

- le faisceau du MWASHYA (R4) avec :

. MWASHYA supérieur (R4.2), constitué de schiste dur siliceux avec présence de bancs de grès arkosique très perméable et donnant lieu notamment aux sources de KAMPEMBA, NAVIUNDU et des petites sources en amont de KASAPA.

. MWASHYA inférieur (R4.1) constitué de dolomie altérée en roche siliceuse, stratifiée : 200 à 300 m d'épaisseur.

- le faisceau de DIPETA (R3) constitué essentiellement de dolomie talqueuse et de calcaire alternant avec des shales.

- le faisceau des Mines (R2), constitué de dolomie, de schiste dolomitique et de calcaire à minerais et avec surtout le RSC qui est une dolomie altérée, carriée, donc vacuolaire à forte perméabilité.

- le faisceau RAT (R1) constitué de roches argilotalqueuses. Toutes ces formations contiennent des horizons aquifères.

2.4. HYDROGEOLOGIE

2.4.1. Généralités

L'existence de nappes aquifères souterraines exploitables est soumise à des conditions :

- . de lithologie : c'est-à-dire de roche réservoir qui par sa porosité en grand : (calcaire fissuré, poche de dissolution, zone faillée) permet de stocker de l'eau,
- . de structure : c'est-à-dire de type de structure (synclinale, anticlinale, ...) qui permet de délimiter la roche réservoir,
- . de ressources renouvelables : c'est-à-dire des conditions de renouvellement de la nappe qui sont fonction des conditions hydroclimatiques et hydrologiques (bassin versant, ruissellement),
- . de la qualité des eaux et plus particulièrement des risques de contamination,
- . des réserves.

2.4.2. Ressources actuellement exploitées par la REGIDESO

Les ressources actuellement exploitées sont (voir fig. 3) :

- . sources captées de KASAPA : 247* l/s (890 m³/h) à partir de 2 sources dans les "calcaires de KAKONTWE",
- . sources captées et galerie drainante de KIMILOLO : 794* l/s (2860 m³/h) dans les "calcaires de KAKONTWE",
- . 1 puits à RUASHI, de 100 m de profondeur et l'eau de la carrière de RUASHI, captant l'aquifère du RSC du faisceau des Mines (71 l/s).

* mesures réalisées en septembre 1986.

2.4.3. Analyse systématique des potentialités aquifères

a. Formations superficielles

Elles consistent essentiellement en produits d'altération du substratum rocheux et en dépôts alluvionnaires des cours d'eau.

Ces formations sont généralement peu perméables ou quand elles sont perméables, de faible extension.

La protection de l'aquifère est quasi inexistante.

Pour ces motifs, les aquifères superficiels ne peuvent être retenus pour l'alimentation en eau de LUBUMBASHI.

b. Formations du KUNDELUNGU

Le synclinal de LUBUMBASHI est constitué des formations du KUNDELUNGU. Tel qu'il ressort de la description lithostratigraphique des formations de la région de LUBUMBASHI, les horizons susceptibles d'avoir une perméabilité suffisante sont :

1. l'ensemble Ks 122 en Ks 121 (calcaire rose)
2. l'ensemble Ki 123 et Ki 122 (calcaire de KAKONTWE)

1. Ensemble Ks 122 et Ks 121

Cet ensemble est constitué à la base de dolomie-calcaire ("calcaire rose") ayant subi des phénomènes de dissolution surmonté par une arénite grossière à discontinuités non colmatées. Il a été reconnu et exploité par des industriels ou privés.

Citons : la Brasserie, le Collège St François de Salle, les filatures.

En règle générale, les forages ont 100 m de profondeur et les débits sont relativement faibles : 5 à 8 l/s et un rabattement important jusqu'à 40 m.

L'ensemble Ks 122 et Ks 121 est resserré sur LUBUMBASHI et de ce fait la zone d'alimentation est réduite: de l'ordre de 20 km².

Les ressources renouvelables ne devraient pas excéder

100 l/s.

Compte tenu de la faiblesse des débits potentiels et des ressources renouvelables limitées, l'ensemble Ks 122 et Ks 121 n'est pas à retenir pour l'alimentation en eau de LUBUMBASHI.

Cet aquifère n'est à retenir que pour des exploitations locales.

2. Ensemble Ki 123 et Ki 122 (calcaire de KAKONTWE)

Cet ensemble est constitué de dolomie dont le niveau inférieur est calcaire (20 %). Il est fortement affecté par des phénomènes de dissolution dont les conséquences s'observent en surface :

- . poljé (0,1 km²) près de la KIPAPILA, affluent de la KARAVIA avec doline récemment effondrée,
- . doline (1 ha) près des bâtiments de l'Université au Nord de LUBUMBASHI,
- . nombreuses dolines au droit des calcaires de KAKONTWE.

La formation des calcaires de KAKONTWE est aisément décelable sur le terrain; elle est marquée généralement par une légère dépression, due aux phénomènes karstiques. On y observe une végétation et un type de termitière distinct de ce qu'on observe au droit des autres formations.

Les sources de KASAPA et de KIMILOLO sont des résurgences des aquifères des calcaires de KAKONTWE.

Ces aquifères karstifiés laissent présager des transmissivités élevées. Se trouvant en dépression, ils sont les collecteurs de bassins d'alimentation importants. Ceci implique des ressources renouvelables considérables.

Les aquifères sis dans les calcaires de KAKONTWE sont

à retenir pour l'exploitation et pour l'alimentation en eau de LUBUMBASHI et font l'objet de reconnaissances.

c. Formation du ROAN

A l'intérieur du ROAN, on retiendra les formations perméables suivantes :

- . les dolomies siliceuses (RSC, CMN) du faisceau des Mines. C'est le RSC qui est exploité à RUASHI.
- . les dolomies siliceuses du MWASHYA inférieur et de la DIPETA.
- . les grès arkosiques au sein du MWASHYA supérieur, qui sont à l'origine des sources amont de KASAPA.

Nombre de rivières de la région de LUBUMBASHI prennent leurs sources dans ces formations.

L'ensemble de ces aquifères est susceptible d'être utilisé pour l'alimentation en eau de LUBUMBASHI.

Conclusions : Les formations susceptibles d'être retenues pour l'alimentation en eau de LUBUMBASHI et qui font l'objet de reconnaissances complémentaires sont :

- . les "calcaires de KAKONTWE" du KUNDELUNGU inférieur,
- . les horizons perméables du "ROAN".

Les reconnaissances géophysiques ont été concentrées sur 6 zones reconnues favorables et les forages sur 3 de ces 6 zones.

2.5. CAMPAGNE DE FORAGE (17/03/87 - 28/04/87)

2.5.1. Introduction

Faisant suite à la géophysique, aux observations géologiques et à des considérations d'ordre économique, 3 zones ont été retenues pour des forages de reconnaissance :

1. KARAVIA
2. CAMPUS
2. KAFUBU

A l'intérieur de chaque zone, les forages ont été implantés à partir des résultats de la géophysique et de l'analyse des photos aériennes.

2.5.2. Forage à KARAVIA

2.5.2.1. Situation géographique

Le forage est situé à 15 km au WNW de LUBUMBASHI à une altitude d'environ 1225 m (fig. 4 et 6). Le terrain est situé au droit des calcaires de KAKONTWE sur le flanc Nord-Est de l'anticlinal de LUPUTO. Les couches du flanc Nord-Est marquent un pli orienté E-W. Par conséquent, les formations sont plus fracturées.

A proximité, on observe un poljé de 10 ha, témoin d'activité karstique. En son centre on trouve une doline récemment effondrée. Celle-ci atteste que le karst y est encore actif. Le terrain est traversée par la KIPAPILA, affluent de la KARAVIA. La KIPAPILA suit jusqu'à ce qu'elle se jette dans la KARAVIA, les calcaires de KAKONTWE.

Le forage se trouve à 12 km en amont des sources de KIMILOLO.

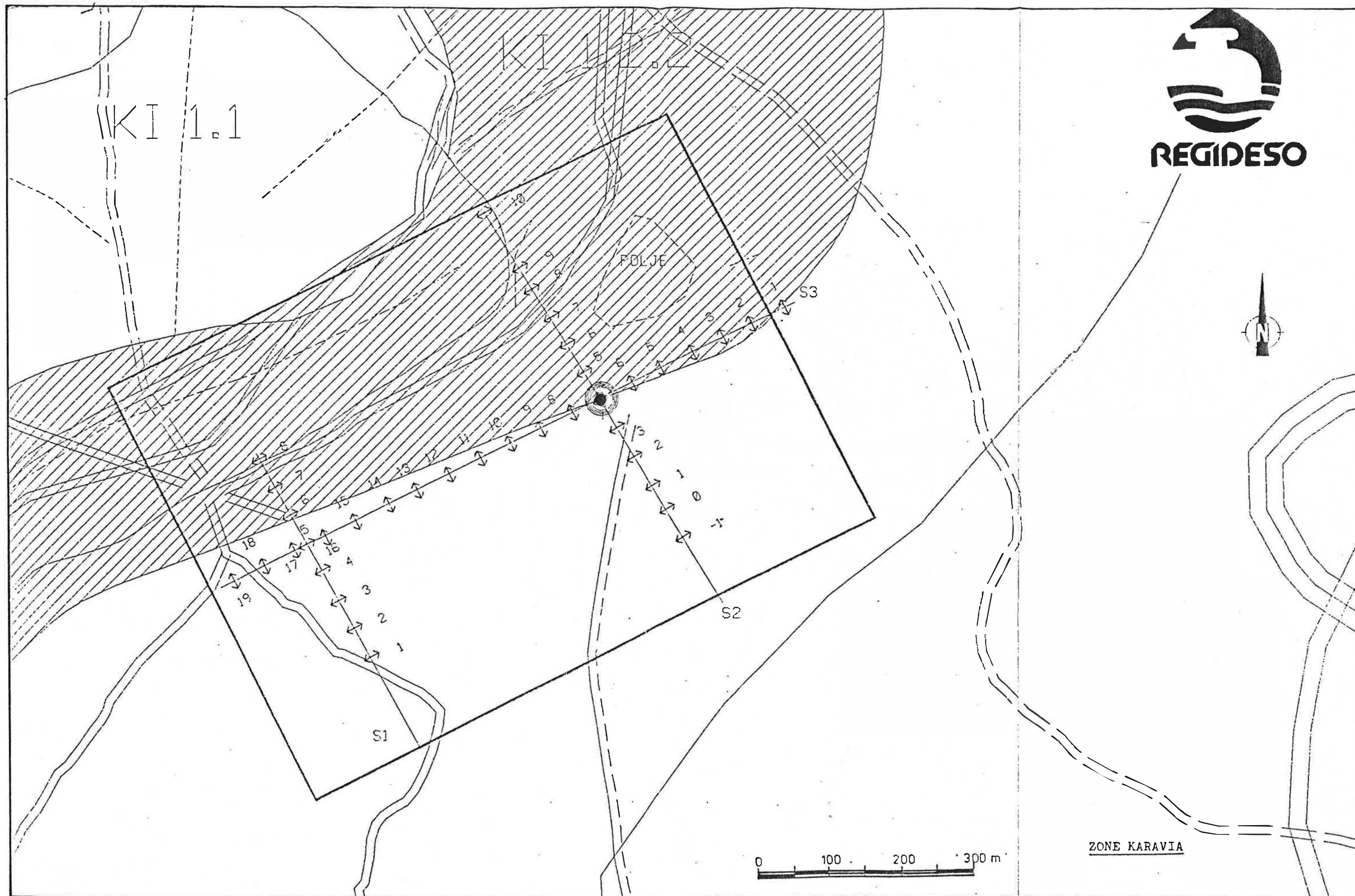


Fig. 6 - Situation du Forage à KARAVIA.

2.5.2.2. Phases d'exécution - déroulement des travaux

- 17.03.87-19.03.87 : Forage en Ø 16 1/2" de 0,0 à 7,0 m
Tubage provisoire Ø 18" de 0,0 à 6,0 m
Forage en Ø 16 1/2" de 7,0 à 31,2 m
Tubage Ø 14" de 0,0 à 31,2 m.
- 20.03.87-27.03.87 : Forage en Ø 12" de 31,2 à 84,9 m
- 28.03.87 : Descente de la colonne de captage Ø 8"
(de + 0,4 à 84,9 m), crépine de production de 54,0 à 84,0 m.
- 03.04.87-06.04.87 : Gravillonnage par gravité
Développement à l'air-lift; pompage.
- 18.04.87 : Essai de pompage
Essai de sable; prélèvement d'échantillons d'eau.
- 19.04.87 : Cimentation de l'espace annulaire de 0,0 à 6,0 m
Fermeture de la chambre de pompage.

2.5.2.3. Caractéristiques techniques du forage

A. Schéma d'exécution

- . Tube guide provisoire Ø 18",
- . Forage en Ø 16 1/2" au rotary avec circulation d'eau dans le terrain meuble jusqu'au toit de la roche dure,
- . Mise en place d'un tubage acier Ø 14",
- . Forage en Ø 12" au marteau fond de trou,
- . Mise en place de la crépine et des tubes aveugles Ø 8".

B. Forage

	Profondeur	Longueur
Forage en Ø 16 1/2"	0,0 à 31,2 m	31,2 m
Forage en Ø 12"	31,2 à 84,9 m	53,7 m

C. Equipement (Fig. 7).

Tube guide provisoire		
Ø 18"	0,0 à 6,0 m	6,0 m
Tube guide Ø 14"	0,0 à 31,2 m	31,2 m
Colonne de captage :		
Tube Ø 8"	+0,4 à 54,0 m	54,4 m
Tube crépiné Ø 8"		
(crépine de production)	54,0 à 84,0 m	30,0 m
Tube Ø 8" (décantation)	84,0 à 84,9 m	0,9 m

Quantité

Massif filtrant constitué de gravier de dolomie (8-20 mm), tamisé et lavé.	2,0 m³
--	--------

2.5.2.4. Essais exécutés et résultats

2.5.2.4.1. Descriptions des terrains (fig. 7)

Nature des échantillons	Profondeur en m	
	de	à
Argile brun rougeâtre, peu sableuse (terre végétale)	0,0	0,5
Argile brun rougeâtre; latéritique	0,5	8,0
Argile brun rougeâtre avec des peti- tes concrétions latéritique	8,0	21,0
Argile jaune rougeâtre avec des peti- tes concrétions latéritique	21,0	31,2
Dolomie argileuse altérée	31,2	37,0
Dolomie grise peu calcitique	37,0	43,0
Dolomie calcitique	43,0	46,0
Dolomie peu argileuse	46,0	49,0
Dolomie grise	49,0	77,0
Dolomie altérée peu argileuse	77,0	84,9

Fig. 7 - Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil, et coupe technique du forage à KARAVIA.

		Lithologie	Avancement de l'outil					Coupe technique
			0	20	40	60	min/m	

2.5.2.4.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil

Ce paramètre est repris sur la figure 7. L'enregistrement permet de localiser la transition argile-dolomie.

2.5.2.4.3. L'essai de pompage

La nappe captée est le calcaire de KAKONTWE; le niveau statique est à 23,57 m sous le niveau du sol (18.04.87). Trois paliers de pompage ont été réalisés. Les résultats des mesures effectuées sur le terrain sont repris dans le tableau 6 et sur les figures 8 à 13.

Le tableau 7 donne le rabattement (s), le débit spécifique (Q/s) et la valeur s/Q pour le débit Q de chaque palier.

Tableau 7 - KARAVIA - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier.

Q (m³/h)	17,6	36,3	72,2
s (m)	0,96	3,92	11,27
Q/s	18,33	9,26	6,41
s/Q	0,055	0,108	0,156

La courbe débits/rabattements (dite "courbe caractéristique") est repris sur la figure 14.

Le débit spécifique pour un débit de 50 m³/h est :

$$Q/s = 8,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

La méthode de THEIS appliquée sur les valeurs obtenues lors des essais de pompage nous permet d'estimer la transmissivité (T) (Fig. 8 à 13).

Tableau 6 - Essai de pompage KARAVIA - Résultats des mesures effectuées sur le terrain

Durée de pompage ou de remontée	Essai de pompage du forage à KARAVIA								
	Niveau d'eau (en m en-dessous du repère)			hauteur repère/sol : 0,43 m			Le 18 avril 1987 pompe à 50 m		
	palier n° 1 $Q = 17,6 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q = 4,9 \text{ l/s}$) $s = 0,96 \text{ m}$			palier n° 2 $Q = 36,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q = 10,1 \text{ l/s}$) $s = 3,92 \text{ m}$			palier n° 3 $Q = 72,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ($Q = 20,1 \text{ l/s}$) $s = 11,27 \text{ m}$		
	descente	remontée	débit (m^3/h)	descente	remontée	débit (m^3/h)	descente	remontée	débit (m^3/h)
0	24,00	24,96		24,00	27,92		24,00	35,27	
30"	24,45	24,64		25,16	25,73		27,16	32,49	
1'	24,54	24,48		25,94	25,02		29,63	30,18	
1'30"	24,62	24,37		26,35	24,59		30,72	28,26	
2'	24,71	24,28		26,62	24,43		31,65	26,74	
2'30"	24,79	24,21		26,81	24,34			25,87	
3'	24,85	24,13		27,04	24,26		sonde en	24,92	
3'30"	24,90	24,09		27,20	24,19			24,65	
4'	24,92	24,08		27,32	24,13		panne	24,46	
4'30"	24,92	24,07		27,41	24,09			24,31	
5'	24,92	24,07	17,6	27,49	24,06	36,2		24,12	71,9
6'	24,92	24,06		27,62	24,04		34,96	24,07	
7'	24,93	24,05		27,71	24,04		34,98	24,05	
8'	24,93	24,04		27,80	24,03		35,00	24,04	
9'	24,93	24,04		27,84	24,03		35,01	24,03	
10'	24,93	24,04	17,9	27,86	24,02	36,4	35,01	24,03	72,3
15'	24,94	24,02		27,90	24,01		35,06	24,02	
20'	24,95	24,02		27,91	24,00		35,13	24,02	
25'	24,96	24,01		27,92	24,00		35,19	24,02	
30'	24,96	24,00	17,3	27,92	24,00	36,4	35,24	24,02	72,4
35'	24,96	24,00		27,92			35,26	24,02	
40'	24,96			27,92			35,27	24,02	
45'	24,96						35,27	24,01	
50'							35,27	24,01	
55'								24,01	
60'									
75'									

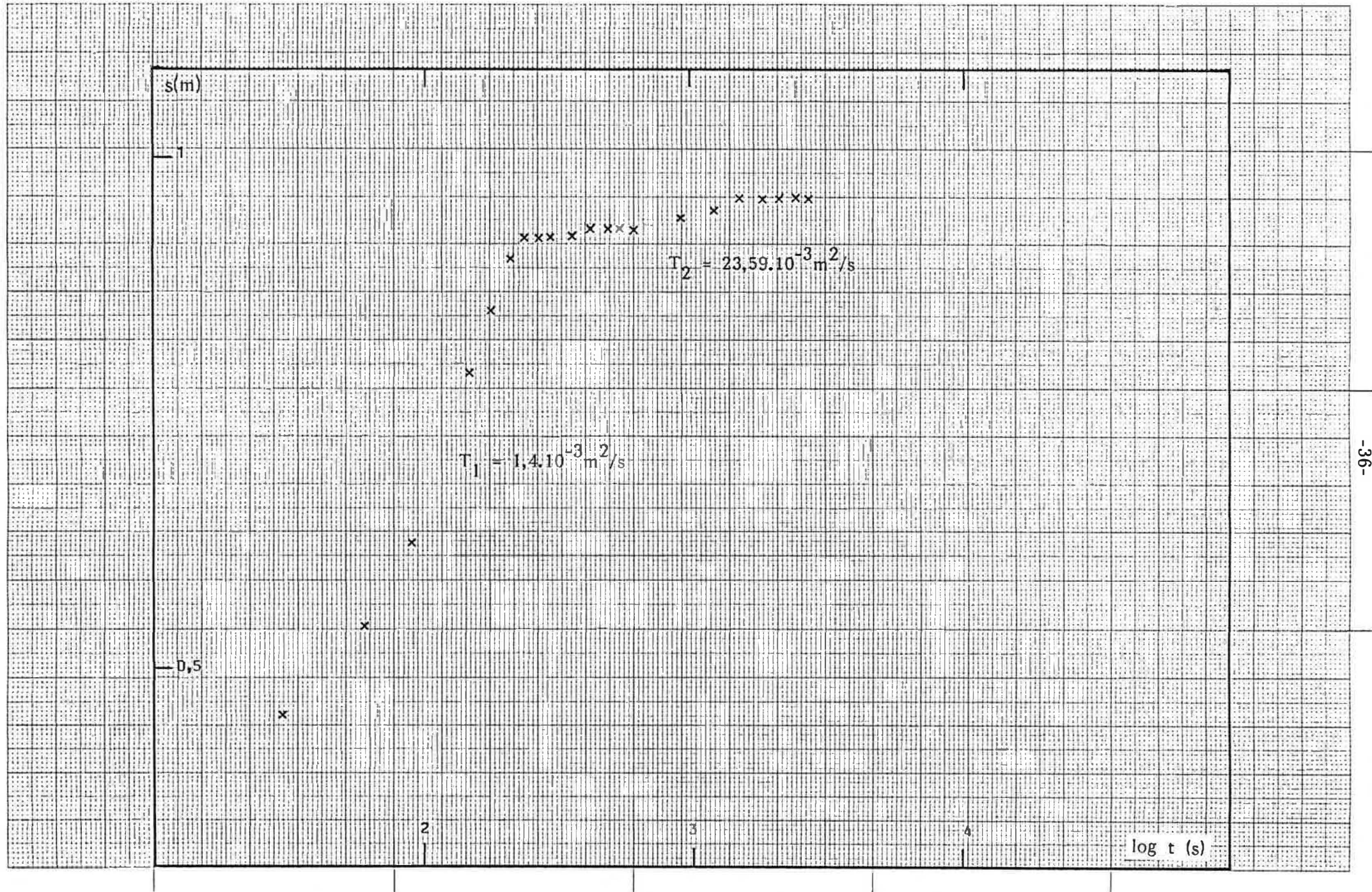


Fig. 8 - KARAVIA - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 17,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

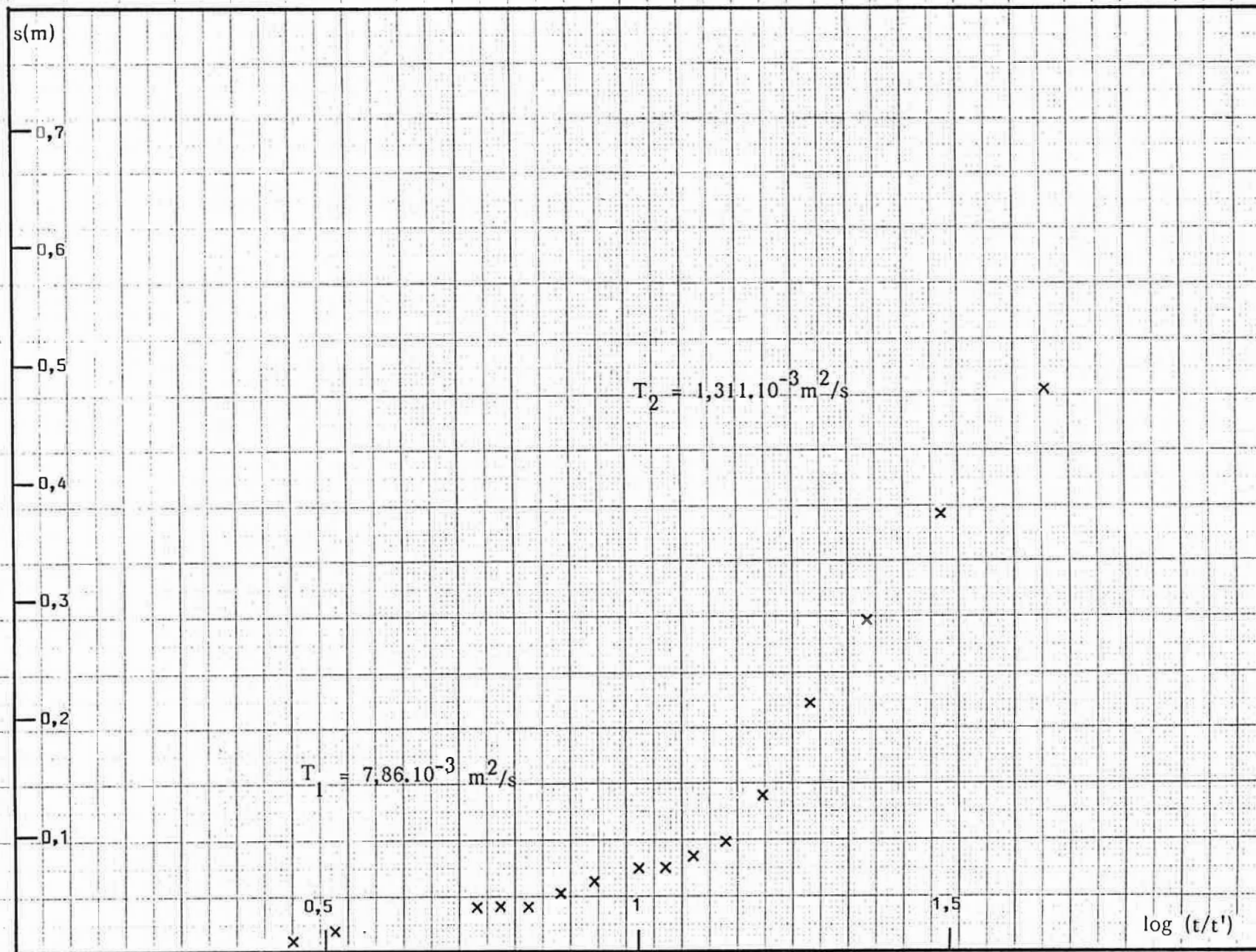


Fig. 9 - KARAVIA - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 17,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

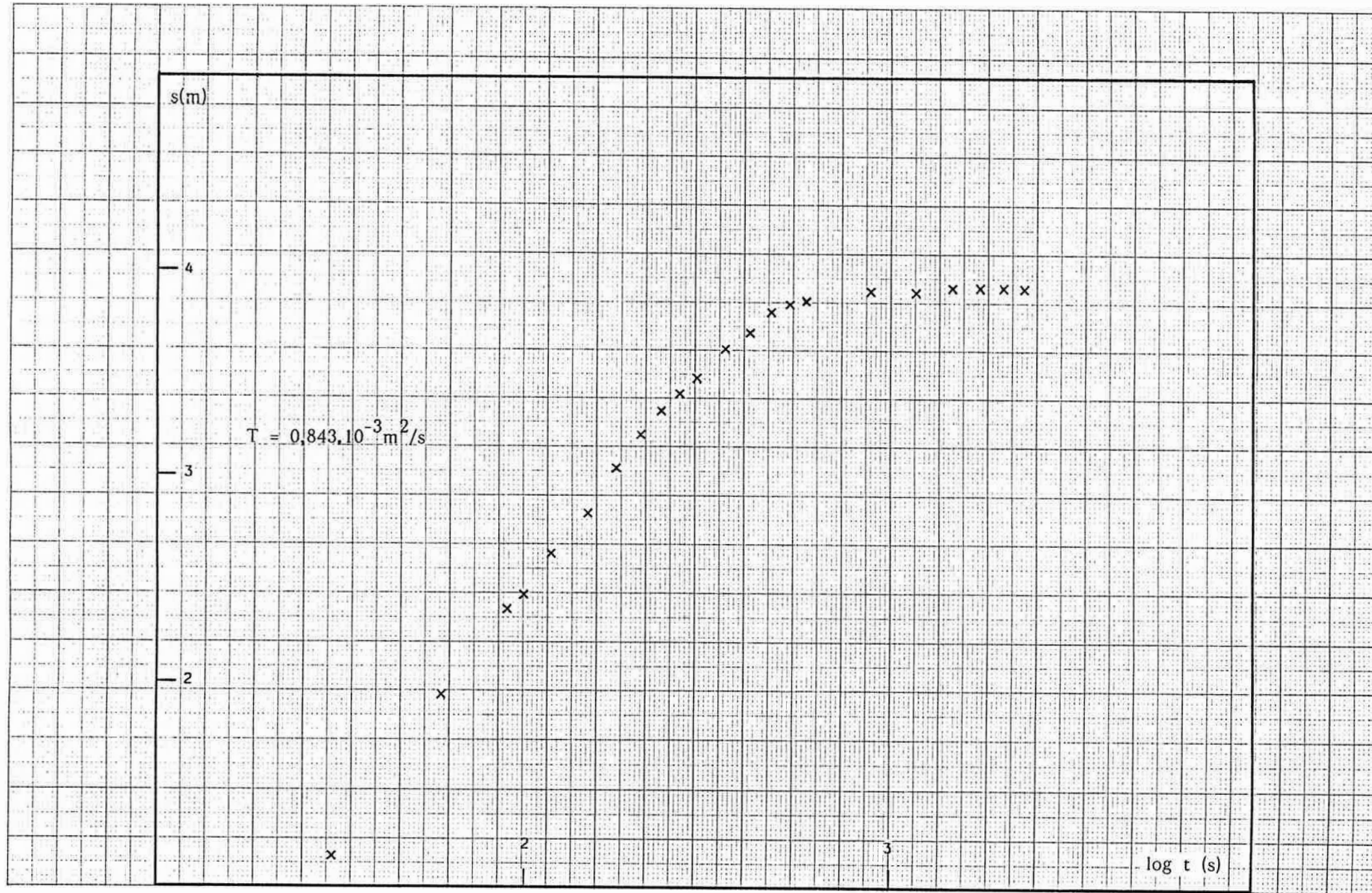


Fig. 10 - KARAVIA - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 36,3 \text{ m}^3/\text{h}$)

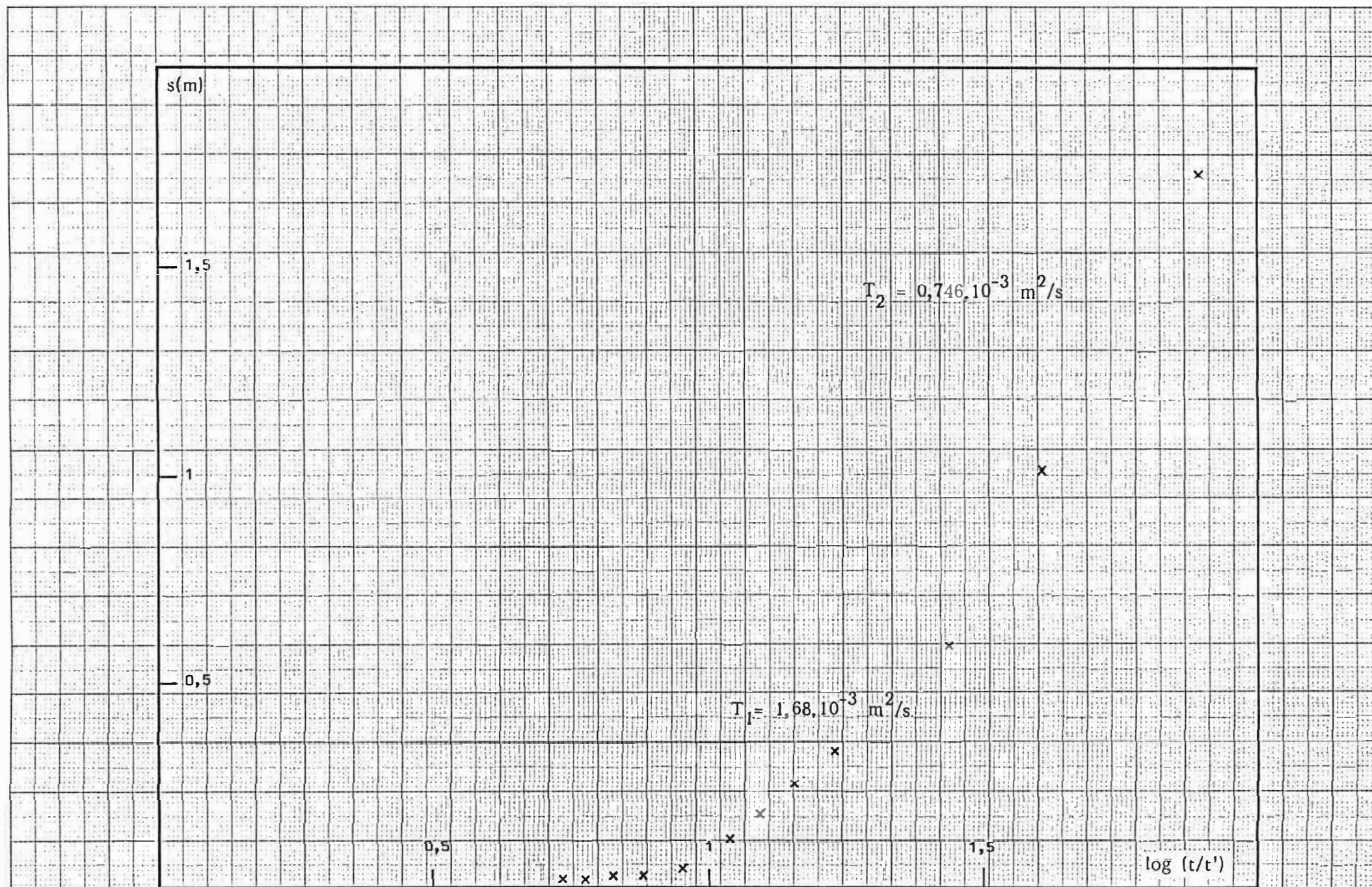


Fig. 11 - KARAVIA - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 36,3 \text{ m}^3/\text{h}$)

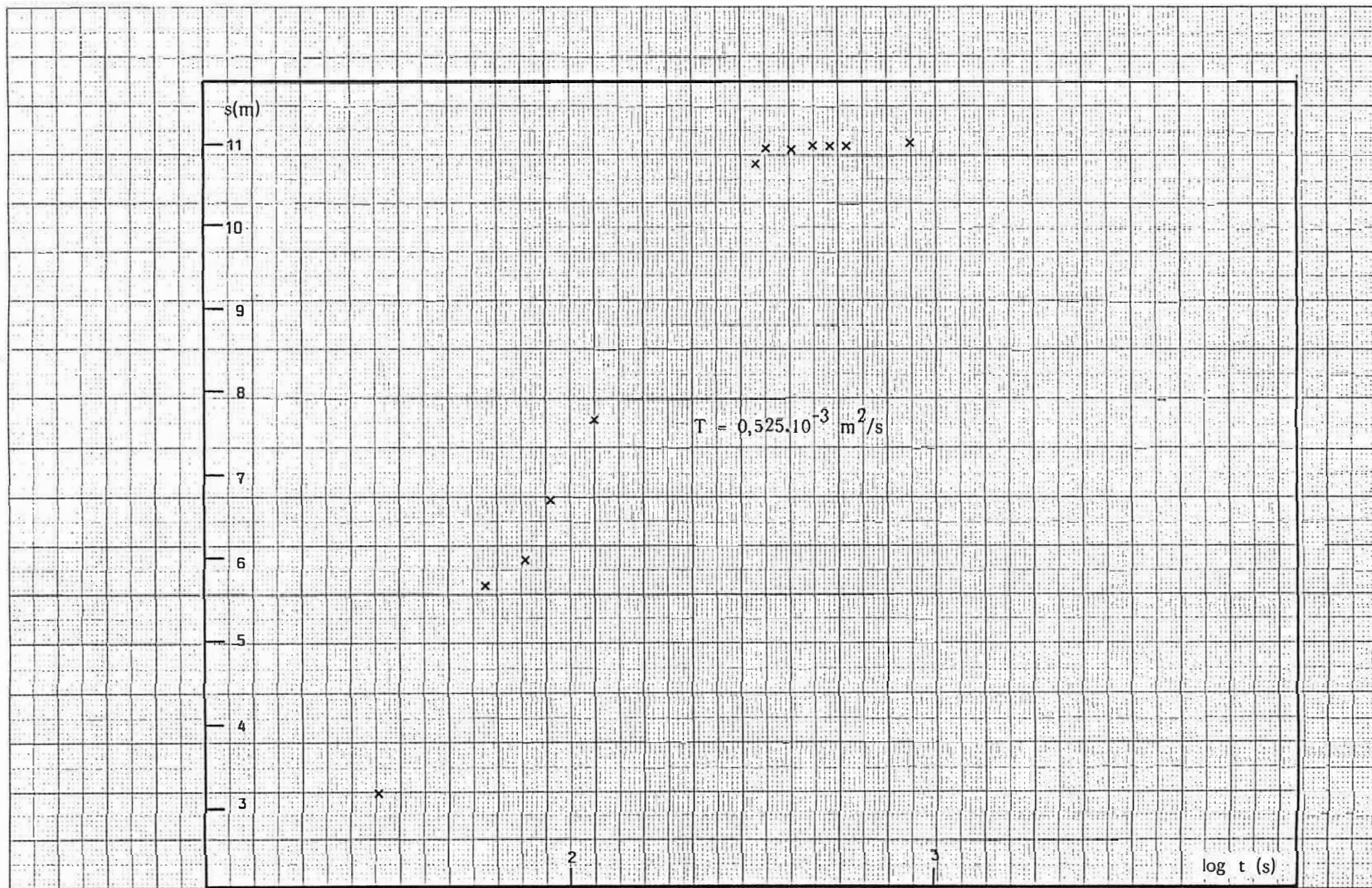


Fig. 12 - KARAVIA - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 72,2 m^3/h$)

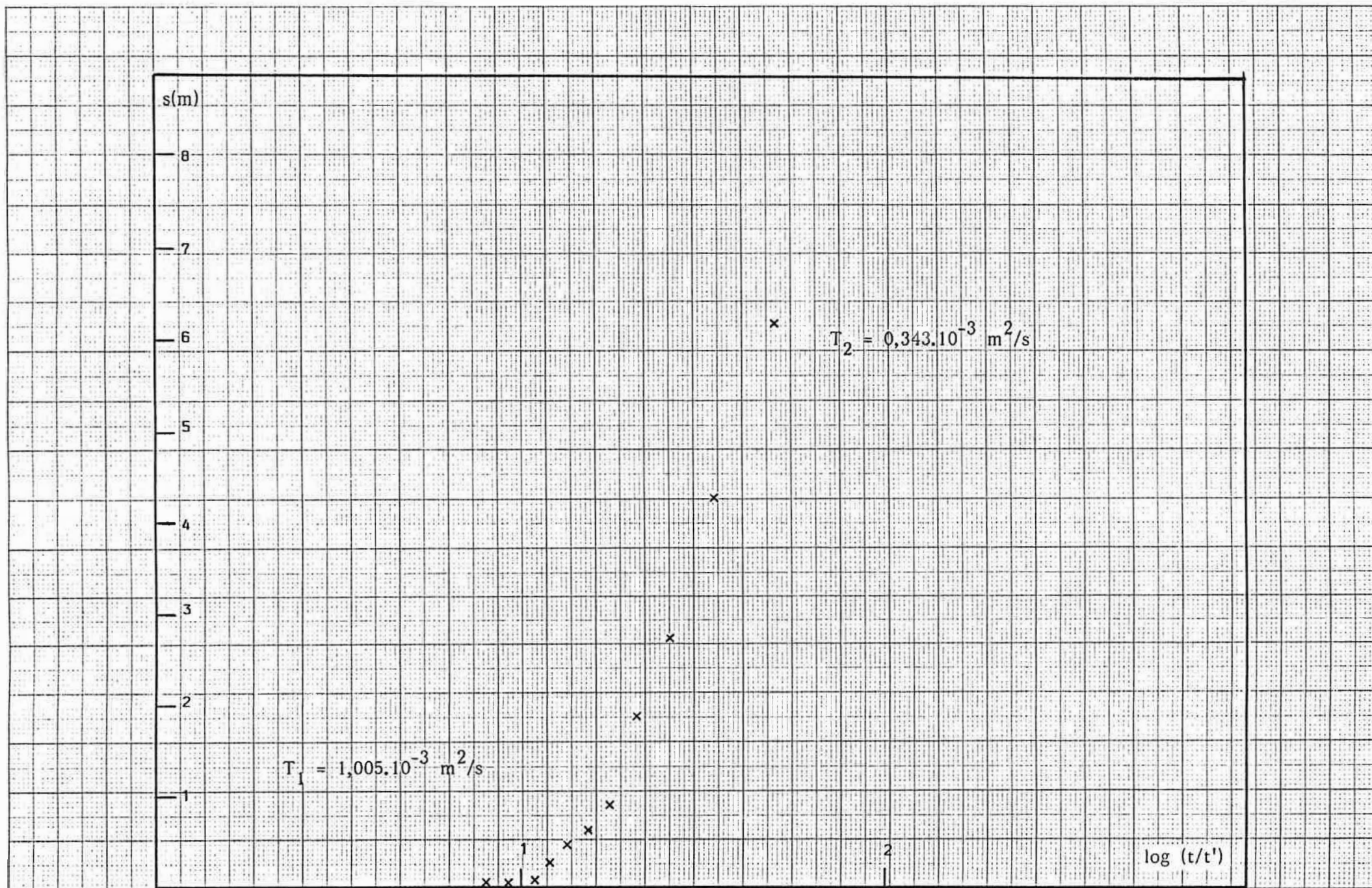
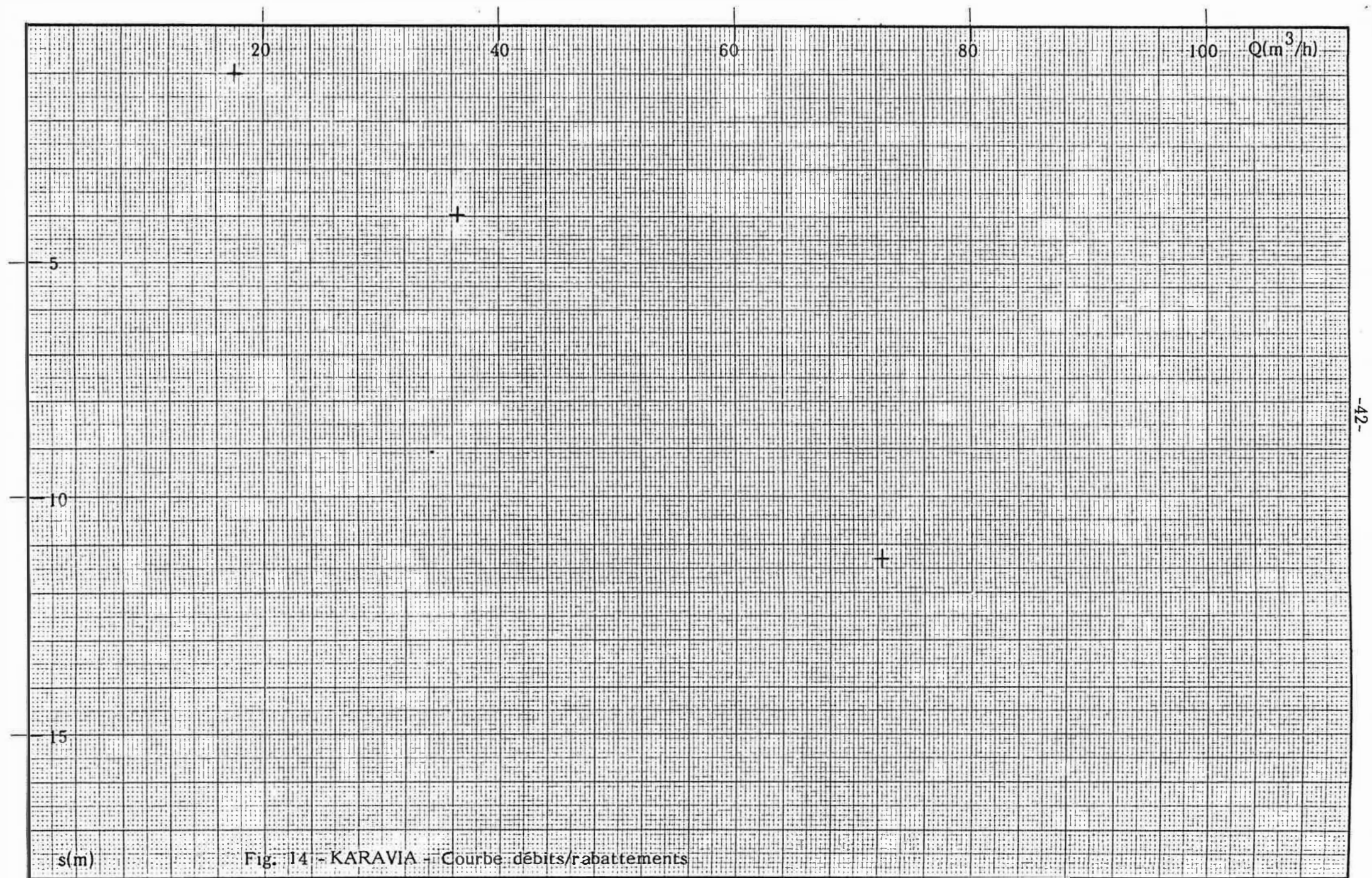


Fig. 13 - KARAVIA - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q \approx 72,2 \text{ m}^3/\text{h}$)



Pour le dernier palier (72,2 m³/h) on a T : 0,3.10⁻³ à 1,0.10⁻³ m²/s.

Le rabattement (s) est fonction du débit (Q); pour le forage KARAVIA, on a :

$$Q = C' \cdot s^a = 1,6 s^{0,6}$$

Le rabattement s en fonction des pertes de charge est donné par l'expression :

$$s = BQ + CQ^2 \text{ (Q en m}^3/\text{h)}$$

Pour le forage KARAVIA on a (fig. 15) :

$$s = 0,031 Q + 0,001775 Q^2$$

Pour un débit d'exploitation de 50 m³/h on a :

$$s = 1,55 \text{ m} + 4,4375 \text{ m} = 5,9875 \text{ m}$$

Le pourcentage des pertes de charge dû à l'écoulement laminaire est $(BQ/s) \cdot 100 = (1,55/5,9875) \cdot 100 = 25,9 \%$.

2.5.2.4.4. Essai de sable

Après un développement par air-lift pendant 16 1/2 heures et un pompage pendant 25 3/4 heures, l'eau était exempte de sable mais contenait une faible teneur en argile.

2.5.2.4.5. L'analyse physico-chimique de l'eau

A la fin de l'essai de pompage, deux échantillons d'environ 1 litre chaque ont été prélevés (18 avril 1987). Les analyses ont été faites à BRUXELLES. Les résultats des analyses com-

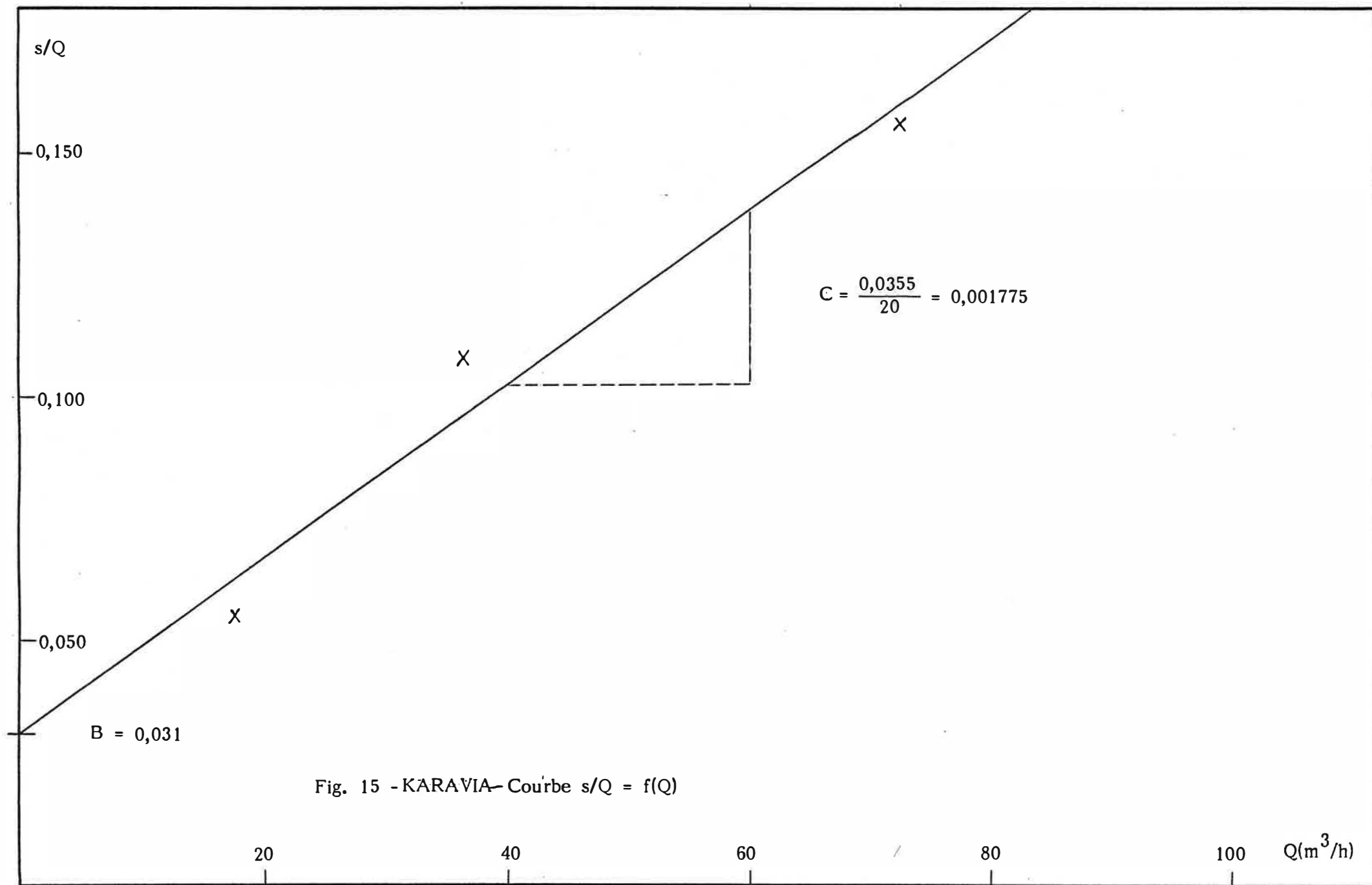


Fig. 15 - KARAVIA- Courbe $s/Q = f(Q)$

plètes (25 éléments et ions majeurs) sont représentés dans le tableau 8.

Tableau 8 - KARAVIA - Analyse chimique de l'eau de la nappe du calcaire de KAKONTWE

Elément ou ion	Unité	Valeur
pH	-	7,2
Conductivité	µS/cm	338
TAC	°F	20
TAF	°F	1
TAC-TAF	°F	21
TH	°F	19,6
Na+K	°F	1,4
Cl	mg/l	5
SO ₄	mg/l	5
NO ₃	mg/l	0
NH ₄	mg/l	0
Fe	mg/l	0,0094
Mn	mg/l	0,029
NO ₂	mg/l	-
HCO ₃	mg/l	-
P ₂ O ₅ /P ₀₄	mg/l	-
CO ₃	mg/l	-
Ca	mg/l	41,6
Mg	mg/l	22,8
Na	mg/l	0,6
K	mg/l	0,6
Al	mg/l	0,0578
Pb	mg/l	0,0329
Cd	mg/l	-
Cu	mg/l	0,0062
Ni	mg/l	0,0256
As	mg/l	-
Ba	mg/l	0,0118
Cr	mg/l	0,006
Zn	mg/l	-
Ag	mg/l	-
Sb	mg/l	-
Se	mg/l	-
B	mg/l	0,0002
SiO ₂	mg/l	7,8
Sr	mg/l	0,0211
P	mg/l	0,0821
C	mg/l	0
Li	mg/l	0

C'est une eau caractérisée par une minéralisation bicarbonatée calcique et magnésienne. La dureté totale est de 19,6°F. L'eau contient peu de chlorures et de sulfates et est exempte en nitrates.

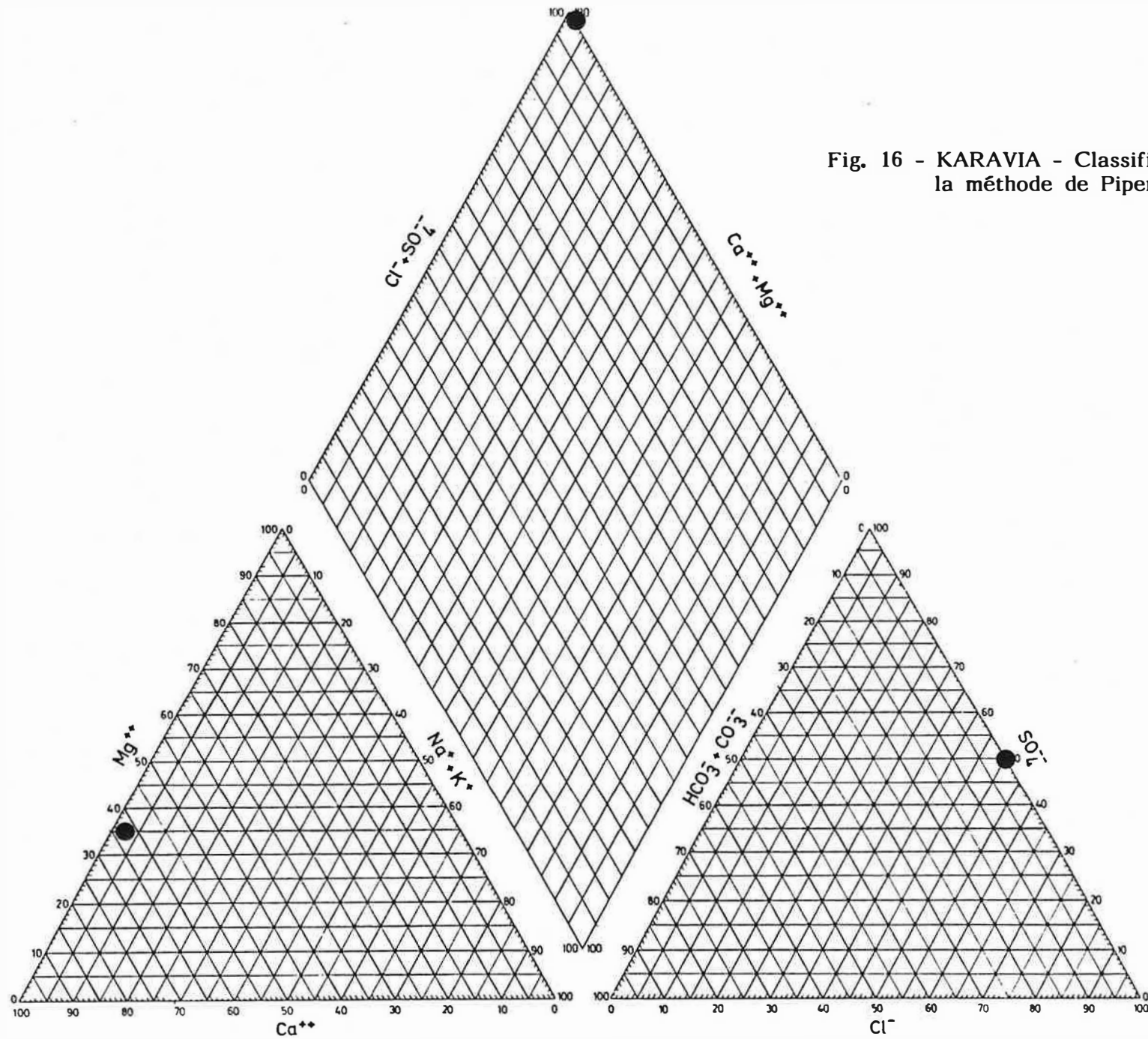
La classification selon la méthode de PIPER est représentée dans le tableau 9 et sur la figure 16.

Tableau 9 - KARAVIA - Classification selon la méthode de PIPER

Na ⁺ + K ⁺	1,8 %	Cl ⁻	50,0 %
Mg ²⁺	34,8 %	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	0,0 %
Ca ²⁺	63,4 %	SO ₄ ²⁻	50,0 %

Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS.

Fig. 16 - KARAVIA - Classification selon la méthode de Piper



2.5.3. Forage au CAMPUS

2.5.3.1. Situation géographique

Le forage est situé à 6 km au nord de LUBUMBASHI à une altitude d'environ 1260 m (fig. 4 et 17).

Le terrain est situé au droit des calcaires de KAKONTWE sur le flanc occidental de l'anticlinal de RUASHI.

L'analyse des photos aériennes montre que le terrain est faillé intensément (6 failles orientées E-W). On y observe une doline de 250 m de diamètre (fig. 17). La fracturation intense et les phénomènes de dissolution en font une zone de choix pour l'exploitation de l'aquifère.

Les eaux superficielles s'écoulant vers le Sud-Est. La zone est 10 km en aval des sources de KASAPA.

2.5.3.2. Phases d'exécution - déroulement des travaux

- 08.04.87-10.07.87 : Forage en Ø 16 1/2" de 0,0 à 6,0 m
Tubage provisoire Ø 18" de 0,0 à 6,0 m
Forage en Ø 16 1/2" de 6,0 à 65,5 m
Tubage Ø 14" de 0,0 à 65,5 m
- 10.04.87-11.04.87 : Forage en Ø 12" de 65,5 à 84,0 m
- 12.04.87 : Descente de la colonne de captage Ø 8"
de + 0,4 à 84,0 m, crépine de production de 66,0 à 83,6 m
- 14.04.87 : Gravillonnage par gravité
- 16.04.87-24.04.87 : Développement à l'air-lift; pompage
- 24.04.87 : Essai de pompage
Essai de sable; prélèvement d'échantillons d'eau
- 28.04.87 : Cimentation de l'espace annulaire de
0,0 à 6,0 m
Fermeture de la chambre de pompage.



Fig. 17 - Situation du forage au CAMPUS.

2.5.3.3. Caractéristiques techniques du forage

A. Schéma d'exécution

- . Tube guide provisoire Ø 18",
- . Forage en Ø 16 1/2" au rotary avec circulation d'eau dans le terrain meuble jusqu'au toit de la roche dure,
- . Mise en place d'un tubage d'acier Ø 14",
- . Forage en Ø 12" au marteau fond de trou,
- . Mise en place de la crépine et des tubes aveugles Ø 8".

B. Forage

	Profondeur	Longueur
Forage en Ø 16 1/2"	0,0 à 65,5 m	65,5 m
Forage en Ø 12"	65,5 à 84,0 m	18,5 m

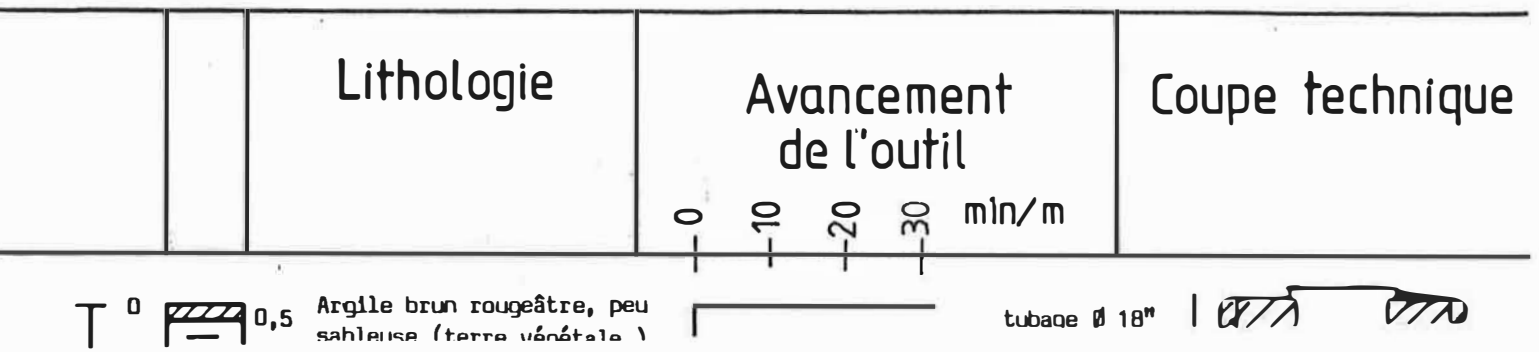
C. Equipement (Fig. 18)

Tube guide provisoire Ø 18"	0,0 à 6,0 m	6,0 m
Tube guide Ø 14"	0,0 à 65,5 m	65,5 m
Colonne de captage :		
Tube Ø 8"	+ 0,4 à 66,0 m	66,4 m
Tube crépine Ø 8" (crépine de production)	66,0 à 83,6 m	17,6 m
Tube Ø 8" (décantation)	83,6 à 84,0 m	0,4 m
	Quantité	

Massif filtrant constitué de gravier de dolomie (4-8 mm), tamisé et lavé.

1,0 m³

Fig. 18 - Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage au CAMPUS.



2.5.3.4. Essais exécutés et résultats

2.5.3.4.1. Description des terrains (fig. 18)

Nature des échantillons	Profondeur en m	
	de	à
Argile brun rougeâtre, peu sableuse (terre végétale)	0,0	0,5
Argile brun rougeâtre avec des petites concrétions latéritique	0,5	65,5
Dolomie peu argileuse	65,5	68,0
Argile et débris dolomitiques	68,0	70,0
Dolomie argileuse en débris de plus en plus fins	70,0	84,0

2.5.3.4.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil

Ce paramètre est repris sur la figure 18. L'enregistrement permet de localiser la transition argile-dolomie ainsi que les horizons plus durs dans la dolomie.

2.5.3.4.3. L'essai de pompage

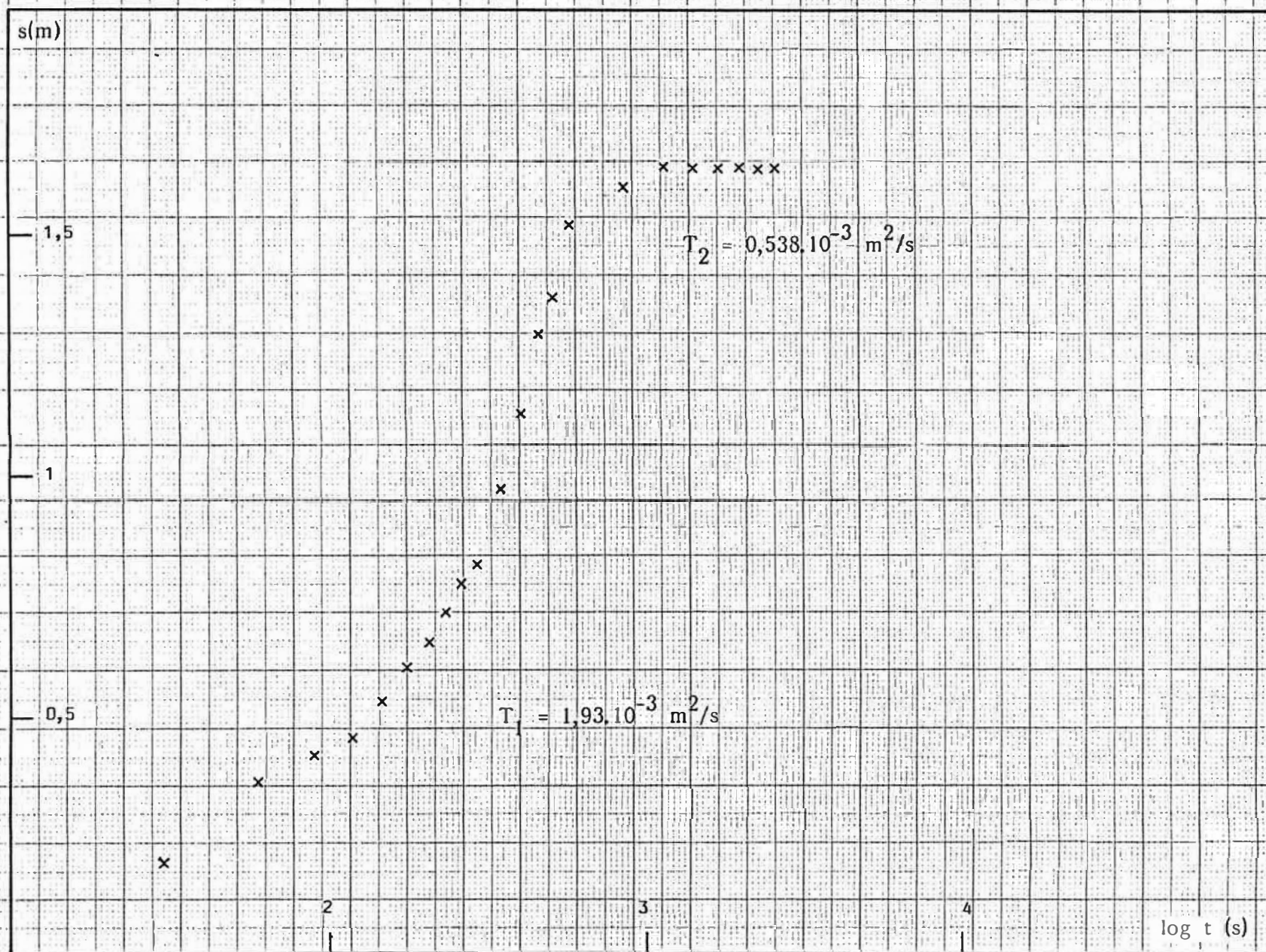
La nappe captée est sise dans les calcaires de KAKONTWE; le niveau statique est à 23,89 m sous le niveau du sol (24.04.87).

Trois paliers de pompage ont été réalisés. Les mesures effectuées sur le terrain sont repris dans le tableau 10 et sur les figures 19 à 24.

Le tableau 11 donne le rabattement (s), le débit spécifique (Q/s) et la valeur s/Q pour le débit Q de chaque palier.

Tableau 10 - Essai de pompage CAMPUS - Résultats des mesures effectuées sur le terrain

Durée de pom- page ou de re- montée	Essai de pompage du forage au CAMPUS								
	Niveau d'eau (en m en dessous du repère)			hauteur repère/sol : 0,37 m			Le 24 avril 1987		
	Palier n° 1 (Q = 5,3 l/s) Q = 19,0 m³/h s = 1,64 m			Palier n° 2 (Q = 18,2 l/s) Q = 65,5 m³/h s = 12,45 m			Palier n° 3 (Q = 36,7 l/s) Q = 132,2 m³/h s = 28,16 m		
	descente	remontée	débit (m³/h)	descente	remontée	débit (m³/h)	descente	remontée	débit (m³/h)
0	24,26	25,90		24,26	36,71		24,27	52,43	
30"	24,46	24,86		29,87	32,16		31,42	44,39	
1'	24,63	24,42		31,53	30,08		37,39	37,16	
1'30"	24,68	24,34		32,11	28,82		43,27	32,07	
2'	24,72	24,29		32,58	27,91		46,31	28,73	
2'30"	24,79	24,27		32,94	27,08		48,22	27,82	
3'	24,86	24,26		33,32	26,82		49,16		
3'30"	24,91	24,26		33,61	26,12		49,83	sonde en	
4'	24,97	24,26		33,78	25,67		50,01		
4'30"	25,03	24,26		33,96	25,21		50,16	panne	
5'	25,07	24,26	19,0	34,09	24,98	65,4	50,29		132,4
6'	25,23	24,26		34,35	24,87		50,55	27,51	
7'	25,39	24,26		34,57	24,77		50,67	27,27	
8'	25,56	24,26		34,77	24,68		50,72	27,05	
9'	25,63	24,26		34,94	24,56		50,88	26,81	
10'	25,78	24,26	19,0	35,08	24,49	65,5	51,07	26,62	132,2
15'	25,86			35,67	24,28		51,93	26,28	
20'	25,90			36,01	24,27		52,20	25,82	
25'	25,90			36,15	24,27		52,31	24,98	
30'	25,90		19,1	36,37	24,27	65,5	52,38	24,28	132,0
35'	25,90			36,50	24,27		52,41	24,26	
40'	25,90			36,62	24,27		52,41	24,26	
45'	25,90			36,70			52,43	24,26	
50'				36,71			52,43		
55'				36,71					
60'				36,71					
75'									
90'									



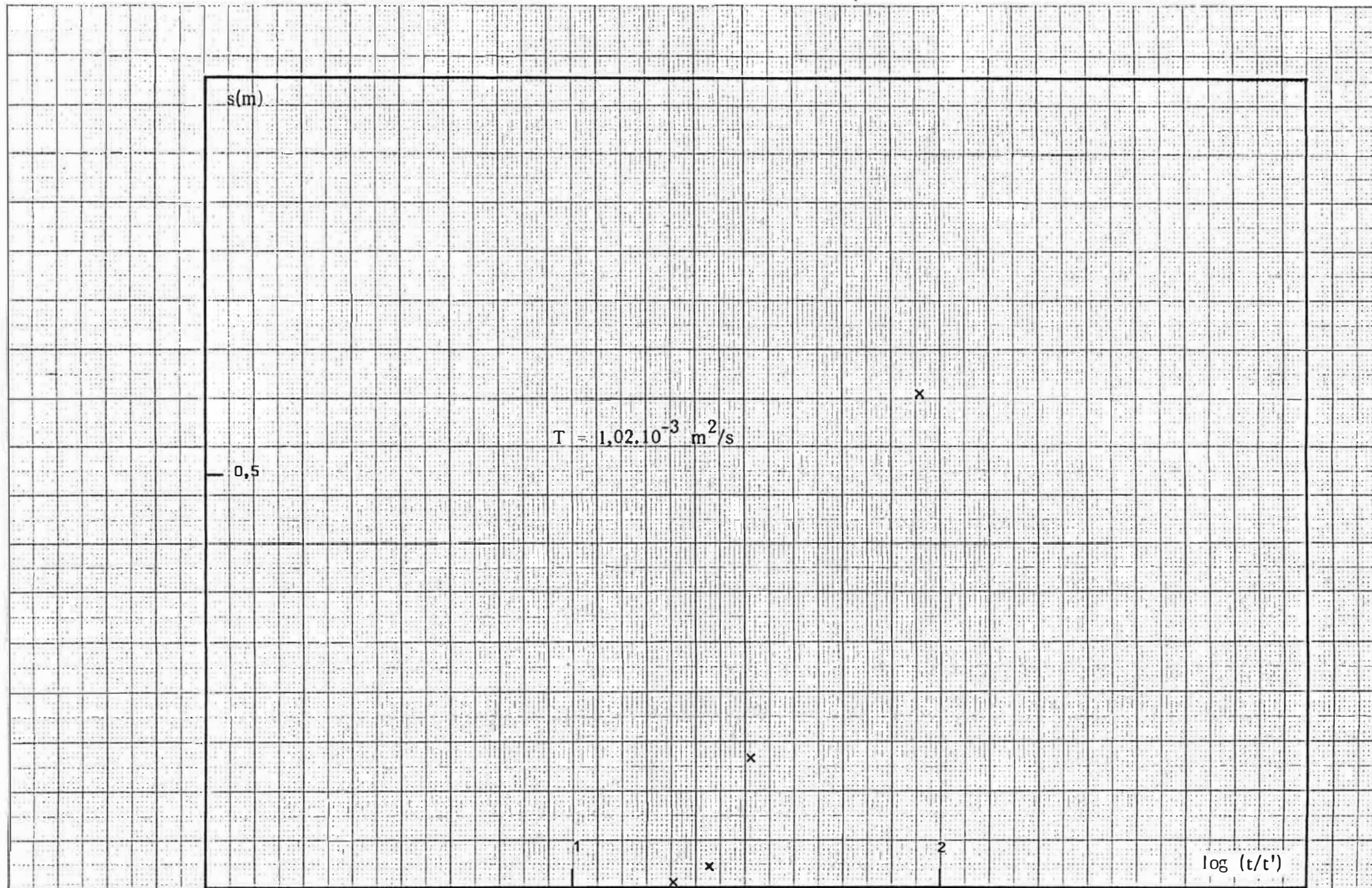


Fig. 20 - CAMPUS - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 19,0 m^3/h$)

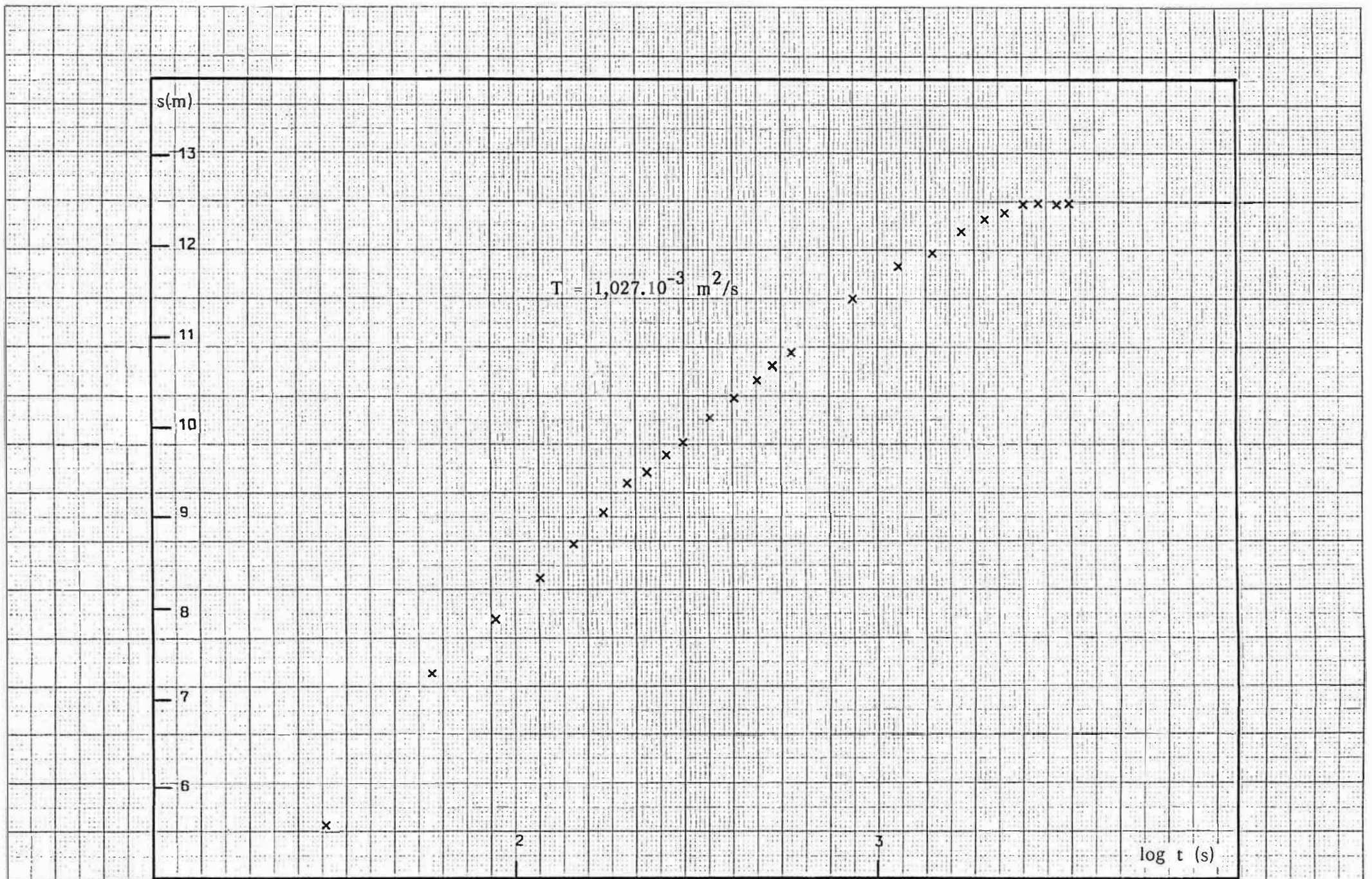


Fig. 21 - CAMPUS - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 65,5 \text{ m}^3/\text{h}$)

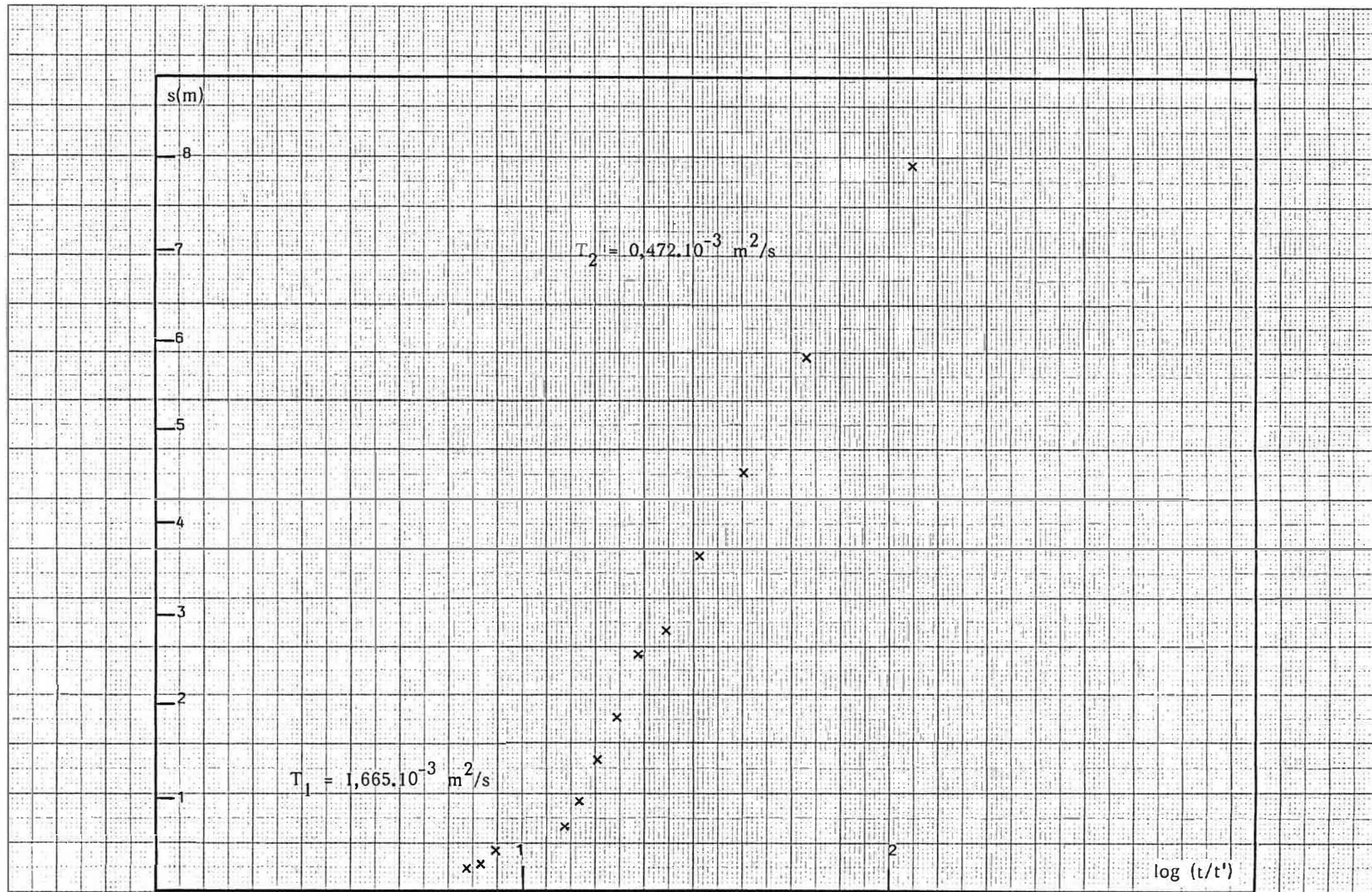


Fig. 22 - CAMPUS - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 65,5 \text{ m}^3/\text{h}$)

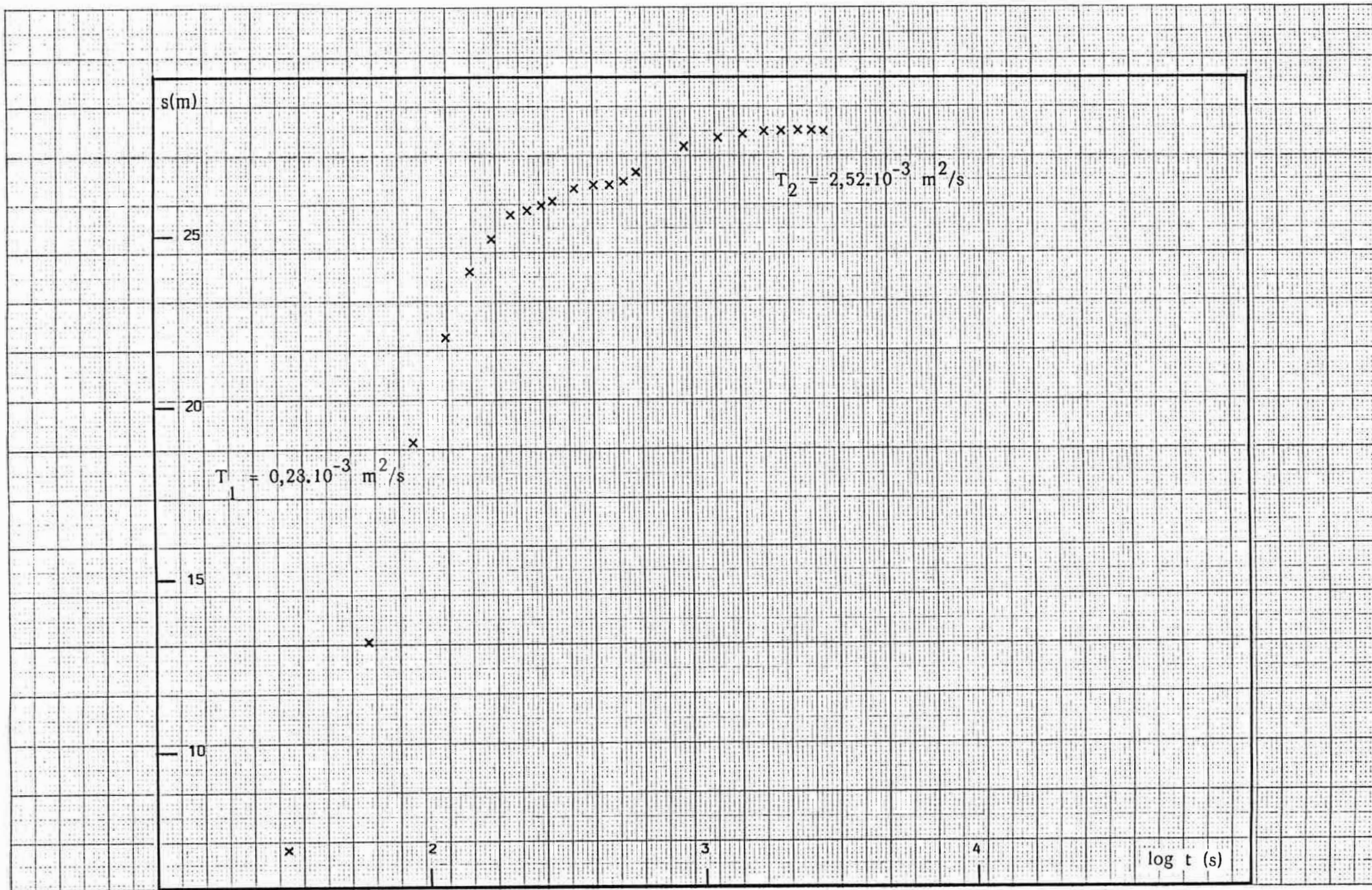


Fig. 23 - CAMPUS - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 132,2 \text{ m}^3/\text{h}$)

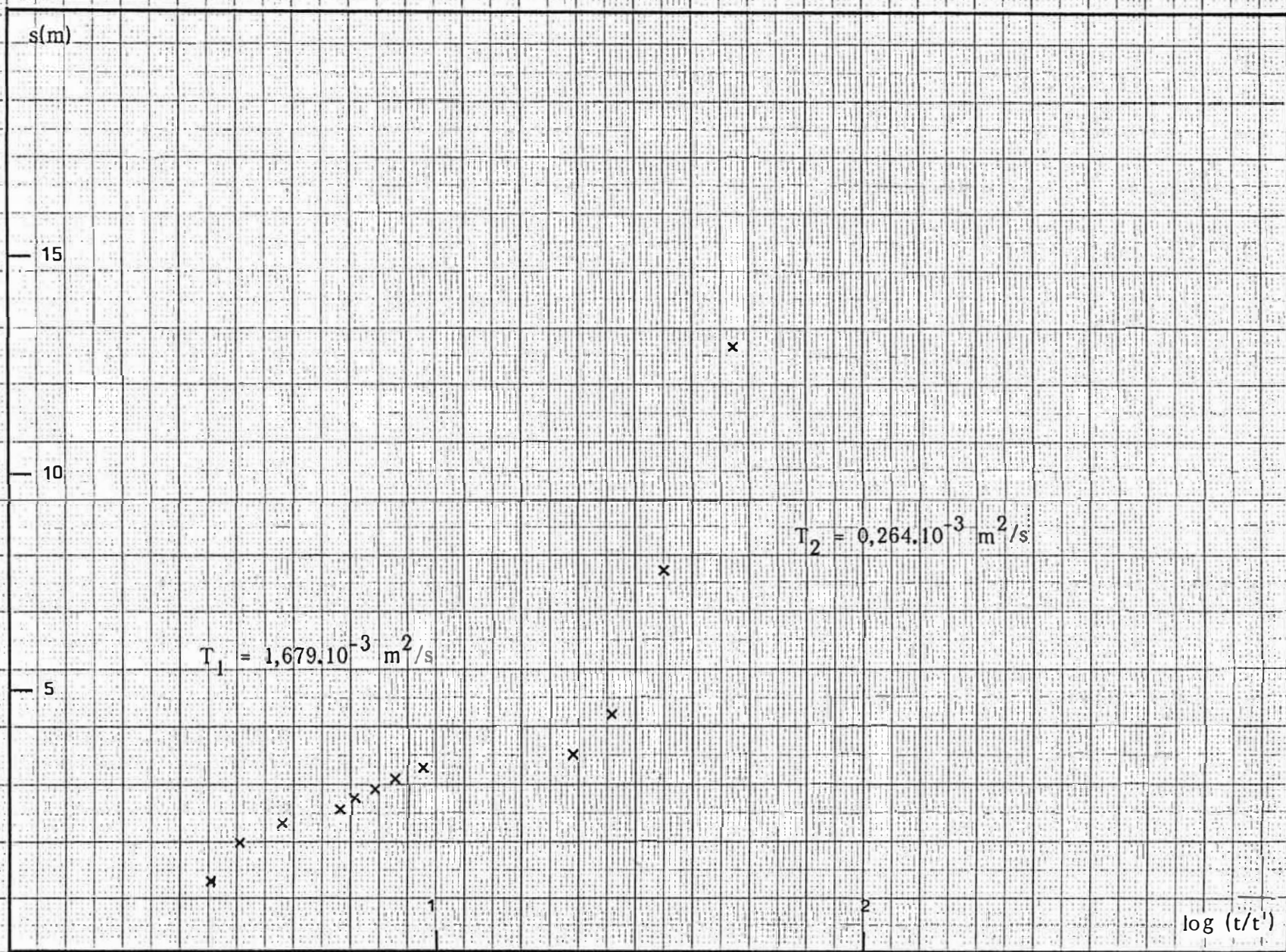


Fig. 24 - CAMPUS - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 132,2 \text{ m}^3/\text{h}$)

Tableau 11 - CAMPUS - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier

Q (m³/h)	19,0	65,5	132,2
s (m)	1,64	12,45	28,16
Q/s	11,59	5,26	4,69
s/Q	0,086	0,190	0,213

La courbe débits/rabattements (dite "courbe caractéristique") est repris sur la figure 25.

Le débit spécifique pour un débit de 50 m³/h est :

$$Q/s = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

La méthode de THEIS appliquée sur les valeurs obtenues lors du dernier palier de pompage nous permet d'estimer la transmissivité T (Fig. 23 et 24) :

$$T = 0,3.10^{-3} \text{ à } 2,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Le rabattement total est fonction du débit; pour le forage CAMPUS on a la relation :

$$Q = C'.s^n = 12,2 \text{ s}^{0,71}$$

Le rabattement s en fonction des pertes de charge est donné par l'expression :

$$s = BQ + CQ^2 \text{ (Q en m}^3/\text{h)}$$

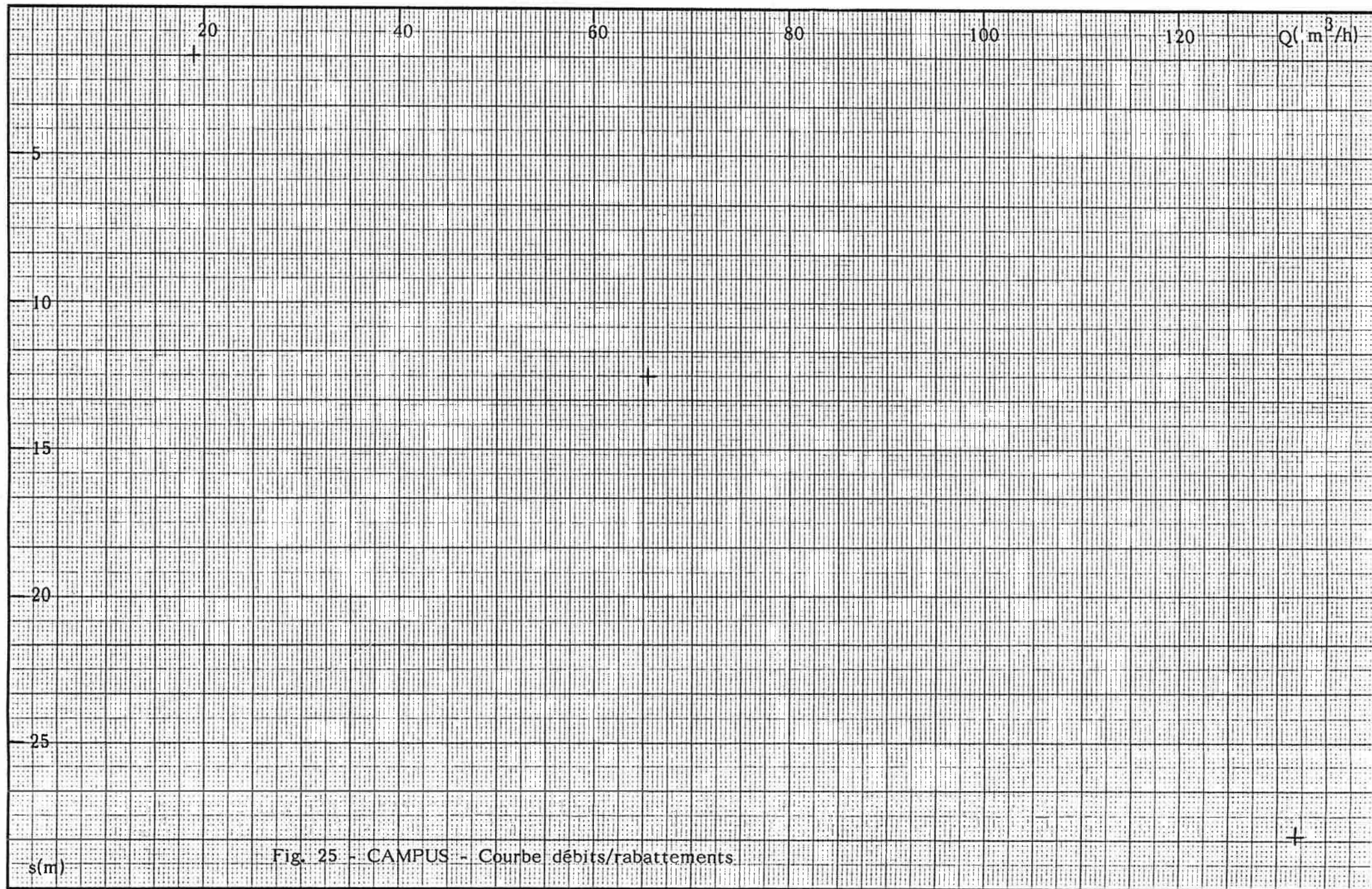
Pour le forage CAMPUS on a (fig. 26) :

$$s = 0,086Q + 0,00105 Q^2$$

Pour un débit d'exploitation de 50 m³/h on a :

$$s = 4,3 \text{ m} + 2,625 \text{ m} = 6,925 \text{ m}$$

Le pourcentage des pertes de charge dû à l'écoulement laminaire est $(BQ/s).100 = (4,3/6,925).100 = 62,1 \%$.



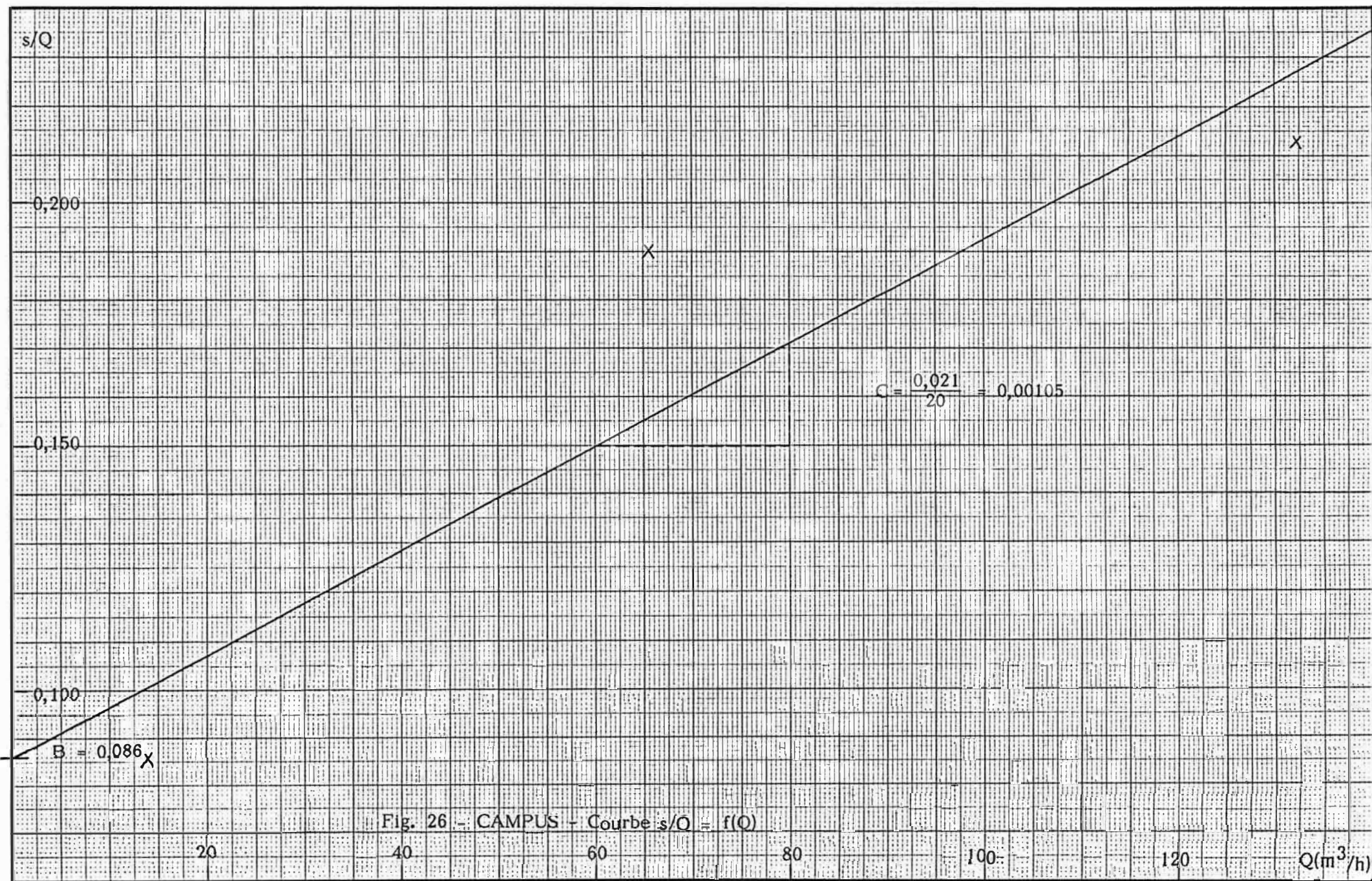


Fig. 26 - CAMPUS - Courbe $s/Q = f(Q)$

2.5.3.4.4. Essai de sable

Après un développement par air-lift pendant 30 1/2 heures et un pompage pendant 103 1/6 heures, l'eau était exempte de sable, mais contenait de l'argile.

2.5.3.4.5. L'analyse physico-chimique de l'eau

A la fin de l'essai de pompage, deux échantillons d'environ 1 litre chaque ont été prélevés (24 avril 1987). Les analyses ont été faites à BRUXELLES. Les résultats des analyses complètes (25 éléments et ion majeurs) son représentés dans le tableau 12.

Tableau 12 - CAMPUS - Analyse chimique de l'eau de la nappe du calcaire de KAKONTWE

Elément ou ion	Unité	Valeur
pH	-	6,8
Conductivité	µS/cm	360
TAC	°F	20
TAF	°F	1
TAC-TAF	°F	21
TH	°F	20
Na+K	°F	1,0
Cl	mg/l	5
SO ₄	mg/l	5
NO ₃	mg/l	0
NH ₄	mg/l	0
Fe	mg/l	0,0082
Mn	mg/l	0,2082
NO ₂	mg/l	-
HCO ₃	mg/l	-
P ₂ O ₅ /P O ₄	mg/l	-
CO ₃	mg/l	-
Ca	mg/l	40,6
Mg	mg/l	22,0
Na	mg/l	3,6
K	mg/l	1,7
Al	mg/l	0,0303
Pb	mg/l	0,0129
Cd	mg/l	-
Cu	mg/l	0,0336
Ni	mg/l	0,0096
As	mg/l	-
Ba	mg/l	0,042
Cr	mg/l	0,0032
Zn	mg/l	-
Ag	mg/l	-
Sb	mg/l	-
Se	mg/l	-
B	mg/l	0,0169
SiO ₂	mg/l	15,7
Sr	mg/l	0,0484
P	mg/l	0,0211
C	mg/l	0
Li	mg/l	0

C'est une eau caractérisée par une minéralisation bicarbonatée calcique et magnésienne. La dureté totale est de 20°F. L'eau contient peu de chlorures et de sulfates et est exempte en nitrates.

La classification selon la méthode de PIPER est représentée dans le tableau 13 et sur la figure 27.

Tableau 13 - CAMPUS - Classification selon la méthode de PIPER.

$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	7,8 %	Cl^-	50,0 %
Mg^{2+}	32,4 %	$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	0,0 %
Ca^{2+}	59,8 %	SO_4^{2-}	50,0 %

Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS sauf le manganèse (valeur recommandée : 0,1 mg/l; valeur au CAMPUS : 0,2082 mg/l).

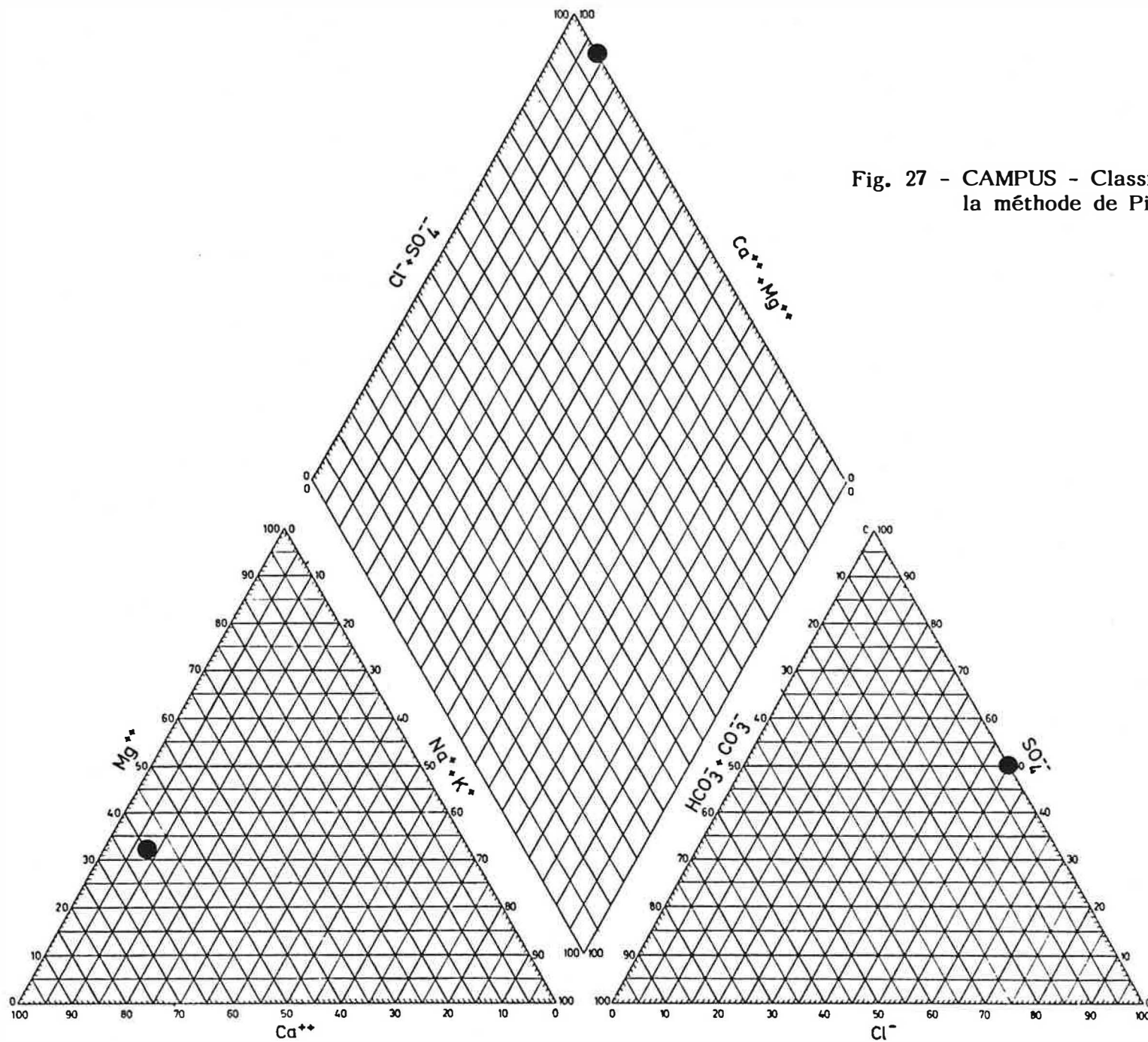


Fig. 27 - CAMPUS - Classification selon la méthode de Piper

2.5.4. Forage à KAFUBU

2.5.1.4. Situation géographique

Le forage est situé à 25 km au SW de LUBUMBASHI à une altitude d'environ 1195 m (fig. 5 et 28).

Le terrain est situé au droit des calcaires de KAKONTWE sur le flanc Sud-Ouest de l'anticlinal de LUPUTO (fig. 3).

Les calcaires de KAKONTWE forment une dépression et de ce fait ils drainent une grande partie des eaux précipitées sur toute leur étendue. En amont, il n'y a pas de prélèvement.

La rivière KAFUBU prend sa source dans les calcaires de KAKONTWE, 23 km en amont du site de forage, et s'écoule vers le Sud où avec ses nombreux affluents, elle draine toute la zone synclinale entre les anticlinaux de KIPUSHI et LUPUTO.

Elle retransverse les calcaires de KAKONTWE au droit de la zone reconnue. De plus, cette zone est affectée par des accidents tectoniques observés sur photos aériennes (fig. 28).

2.5.4.2. Phases d'exécution - déroulement des travaux

- 17.04.87-20.04.87 : Forage en Ø 16 1/2" de 0,0 à 6,0 m
Tubage provisoire Ø 18" de 0,0 à 6,0 m
Forage en Ø 16 1/2" de 6,0 à 12,0 m
Tubage Ø 14" de 0,0 à 14,0 m
Forage en Ø 12" de 12,0 m à 47,0 m
- 21.04.87 : Descente de la colonne de captage Ø 8"
de + 0,3 à 47,0 m, crépine de production de 23,0 à 41,0 m.
- 22.04.87-28.04.87 : Gravillonnage par gravité
Développement à l'air-lift; pompage
- 26.04.87 : Cimentation de l'espace annulaire de 0,0
à 6,0 m

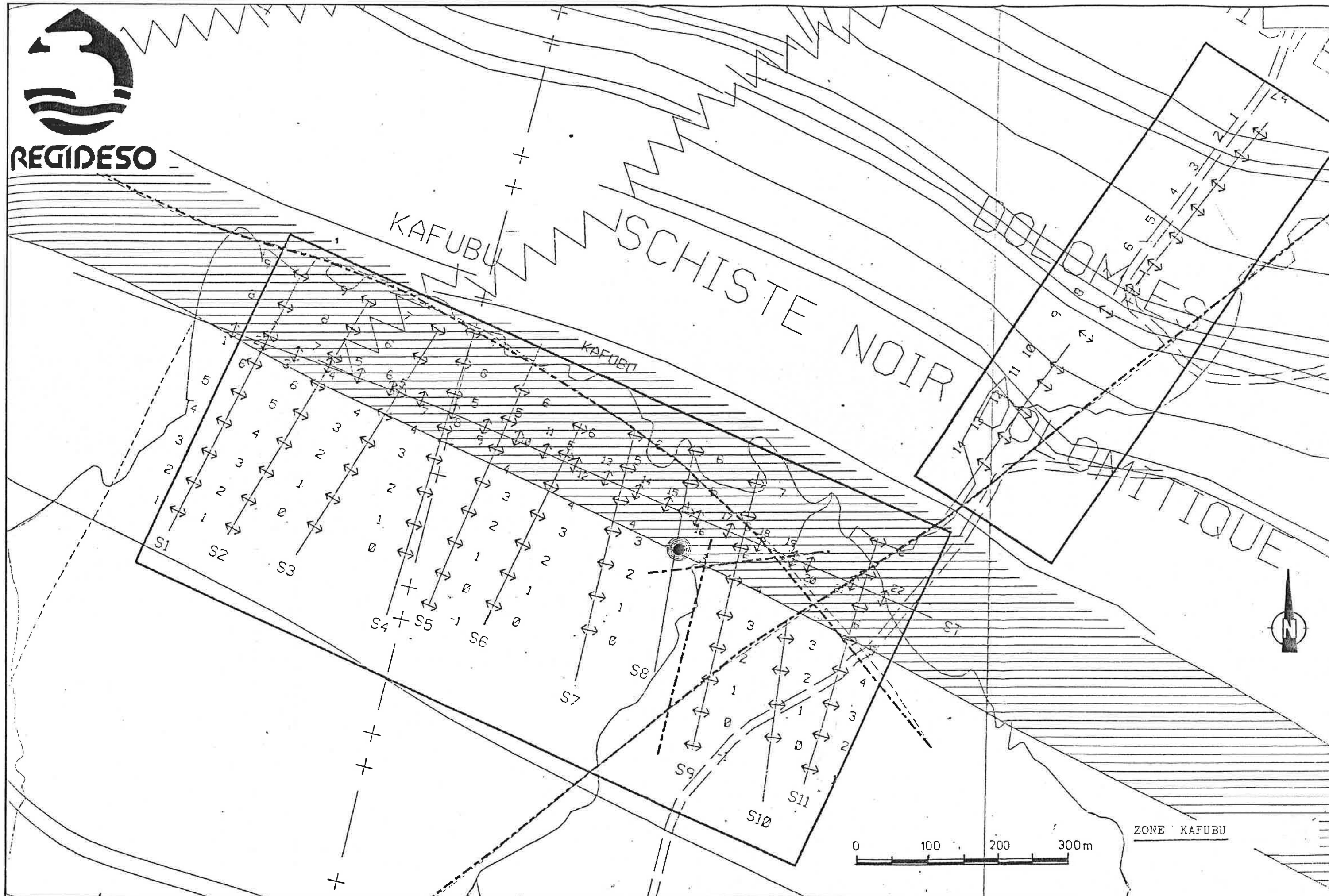


Fig. 28 - Situation du forage à KAFUBU

28.04.87 : Essai de pompage
 Essai de sable; prélèvement d'échantil-
 lons d'eau
 Fermeture de la chambre de pompage.

2.5.4.3. Caractéristiques techniques du forage

A. Schéma d'exécution

- . Tube guide provisoire Ø 18"
- . Forage en Ø 16 1/2" au rotary avec circulation d'eau dans le terrain meuble jusqu'au toit de la roche dure,
- . Mise en place d'un tubage d'acier Ø 14",
- . Forage en Ø 12" au marteau fond de trou,
- . Mise en place de la crépine et des tubes aveugles Ø 8".

B. Forage

	Profondeur	Longueur
Forage en Ø 16 1/2"	0,0 à 12,0 m	12,0 m
Forage en Ø 12"	12,0 à 47,0 m	35,0 m

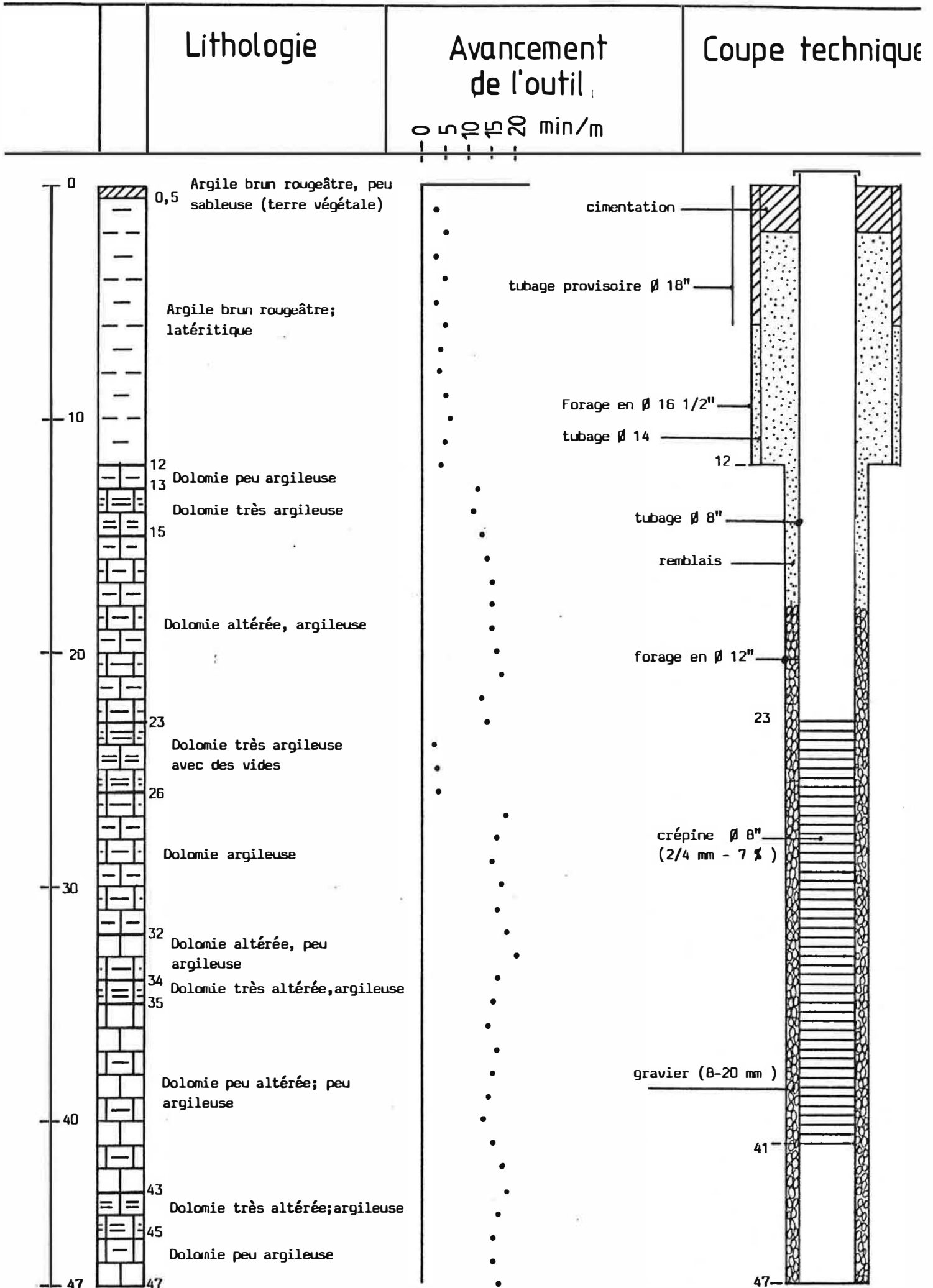
C. Equipement (Fig. 29)

Tube guide provisoire Ø 18"	0,0 à 6,0 m	6,0 m
Tube guide Ø 14"	0,0 à 14,0 m	14,0 m
Colonne de captage :		
tube Ø 8"	+ 0,3 à 23,0 m	23,3 m
tube crépine Ø 8" (cré- pine de production)	23,0 à 41,0 m	18,0 m
tube Ø 8" (décantation)	41,0 à 47,0 m	6,0 m
	Quantité	

Massif filtrant constitué
 de gravier de dolomie, (8-20
 mm) tamisé et lavé

15 m³

Fig. 29 - Lithologie, vitesse d' avancement de l' outil et coupe technique du forage à KAFUBU.



2.5.4.4. Essais exécutés et résultats

2.5.4.4.1. La description des terrains (fig. 29)

Nature des échantillons	Profondeur en m	
	de	à
Argile brun rougeâtre, peu sableuse (terre végétale)	0,0	0,5
Argile brun rougeâtre; latéritique	0,5	12,0
Dolomie peu argileuse	12,0	13,0
Dolomie très argileuse	13,0	15,0
Dolomie altérée, argileuse	15,0	23,0
Dolomie très argileuse avec des vides	23,0	26,0
Dolomie argileuse	26,0	32,0
Dolomie altérée, peu argileuse	32,0	34,0
Dolomie très altérée, argileuse	34,0	35,0
Dolomie peu altérée; peu argileuse	35,0	43,0
Dolomie très altérée; argileuse	43,0	45,0
Dolomie peu argileuse	45,0	47,0

2.5.4.4.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil

Ce paramètre est repris sur la figure 29. L'enregistrement permet de localiser la transition argile-dolomie et de localiser les horizons plus durs ou plus tendres dans la dolomie.

2.5.4.4.3. L'essai de pompage

La nappe captée est le calcaire de KAKONTWE; le niveau statique est à 6,72 m sous le niveau du sol (28.04.87).

Trois paliers de pompage ont été réalisés. Les résultats des mesures effectuées sur le terrain sont repris dans le tableau 14 et sur les figures 30 à 35. Le tableau 15 donne le rabattement (s), le débit spécifique (Q/s) et la valeur s/Q pour

Tableau 14 - Essai de pompage KAFUBU - Résultats des mesures effectuées sur le terrain

Durée de pom- page ou de re- montée	Essai de pompage du forage à KAFUBU Niveau d'eau (en m en-dessous du repère) hauteur repère/sol : 0,32 m Le 28 avril 1987 Pompe à 25 m								
	Palier n° 1 Q = 59,2 m³/h (Q = 16,5 l/s) s = 0,41 m			Palier n° 2 Q = 106,6 m³/h (Q = 29,6 l/s) s = 0,825 m			Palier n° 3 Q = 186,6 m³/h (Q = 51,8 l/s) s = 1,635 m		
	descente	remontée	débit(m³/h)	descente	remontée	débit(m³/h)	descente	remontée	débit(m³/h)
0	7,04	7,45		7,05	7,875		7,05	8,685	
30"	7,26	7,12		7,58	7,20		8,02	7,34	
1'	7,30	7,09		7,66	7,11		8,285	7,21	
1'30"	7,32	7,08		7,70	7,10		8,35	7,15	
2'	7,34	7,08		7,72	7,10		8,380	7,12	
2'30"	7,35	7,08		7,75	7,10		8,41	7,10	
3'	7,36	7,07		7,76	7,09		8,435	7,09	
3'30"	7,36	7,07		7,78	7,09		8,455	7,09	
4'	7,36	7,07		7,79	7,08		8,470	7,09	
4'30"	7,37	7,07		7,79	7,08		8,49	7,08	
5'	7,38	7,07	59,2	7,79	7,08	106,6	8,505	7,08	186,6
6'	7,39	7,06		7,81	7,07		8,54	7,07	
7'	7,39	7,06		7,83	7,06		8,56	7,07	
8'	7,41	7,05		7,84	7,06		8,58	7,07	
9'	7,42	7,05		7,85	7,06		8,59	7,06	
10'	7,44	7,05	59,1	7,85	7,05	106,8	8,605	7,06	186,6
15'	7,44	7,05		7,87	7,05		8,645	7,05	
20'	7,44	7,05		7,87	7,05		8,685	7,05	
25'	7,45			7,875			8,685	7,05	
30'	7,45		59,2	7,875		106,4	8,685	7,05	186,6
35'	7,45								
40'	7,45								
45'									
50'									
55'									
60'									
75'									
90'									

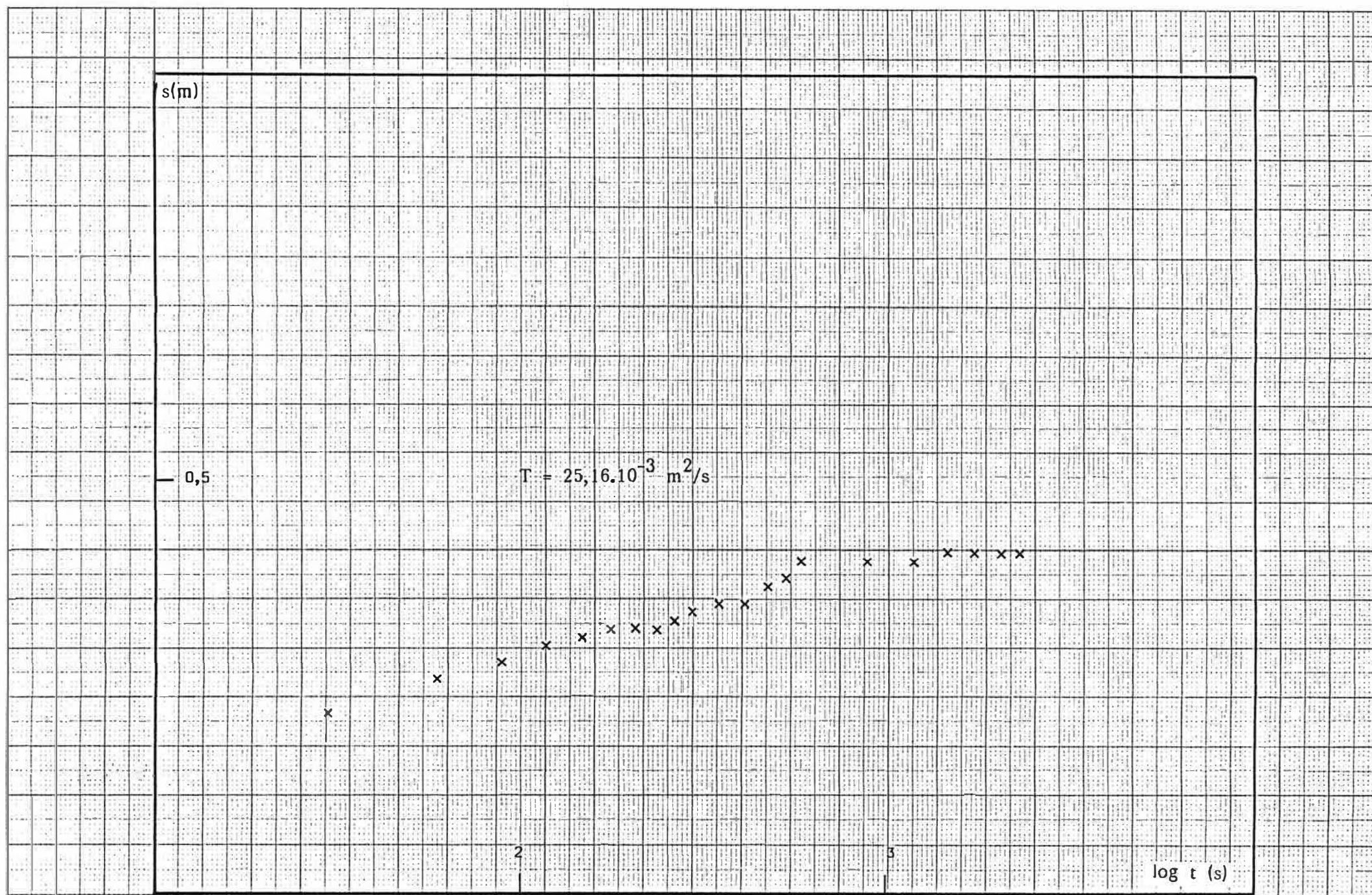


Fig. 30 - KAFUBU - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 59,2 \text{ m}^3/\text{h}$)

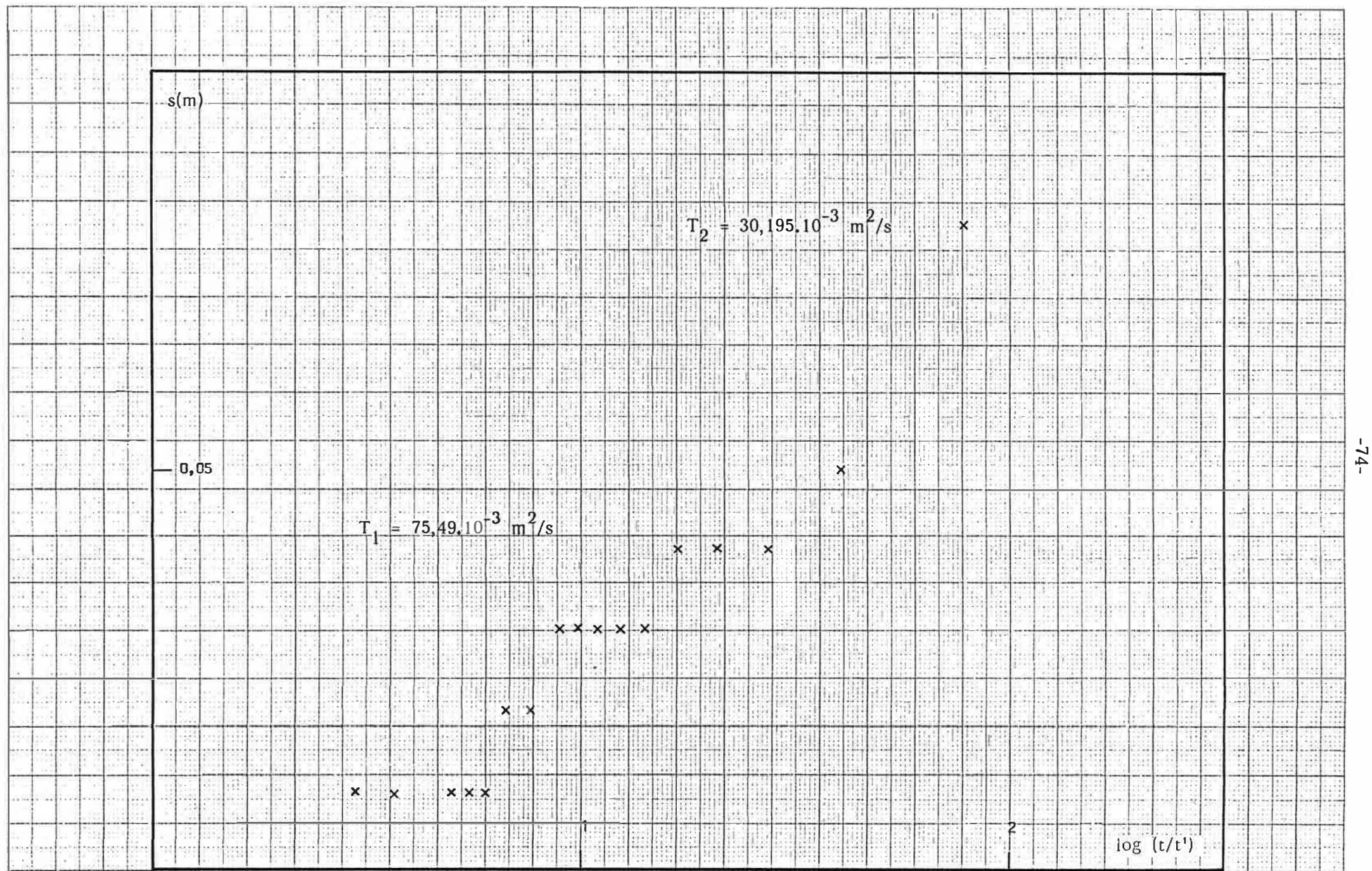


Fig. 31 - KAFUBU - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 59,2 \text{ m}^3/\text{h}$)

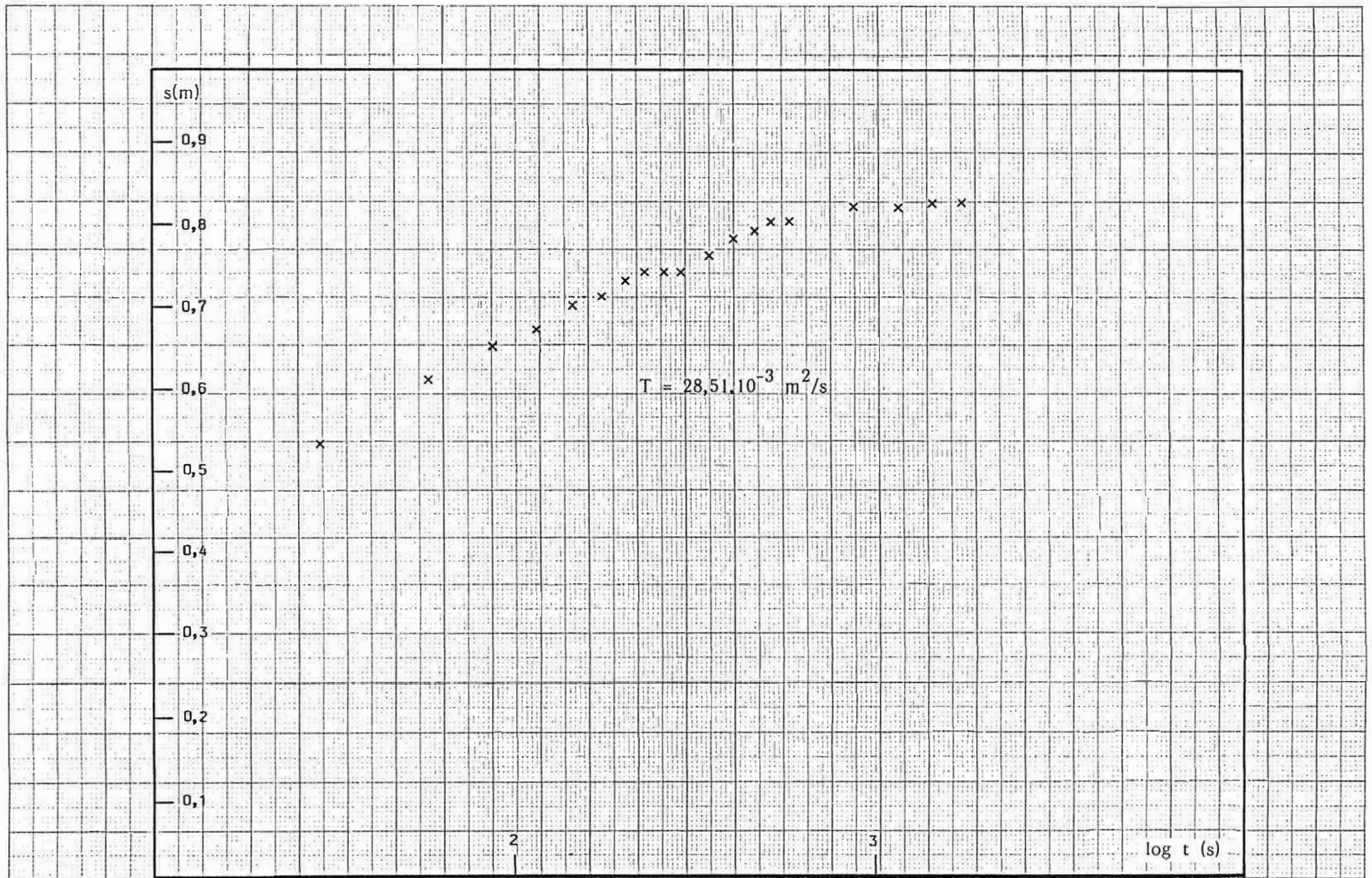


Fig. 32 - KAFUBU - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 106,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

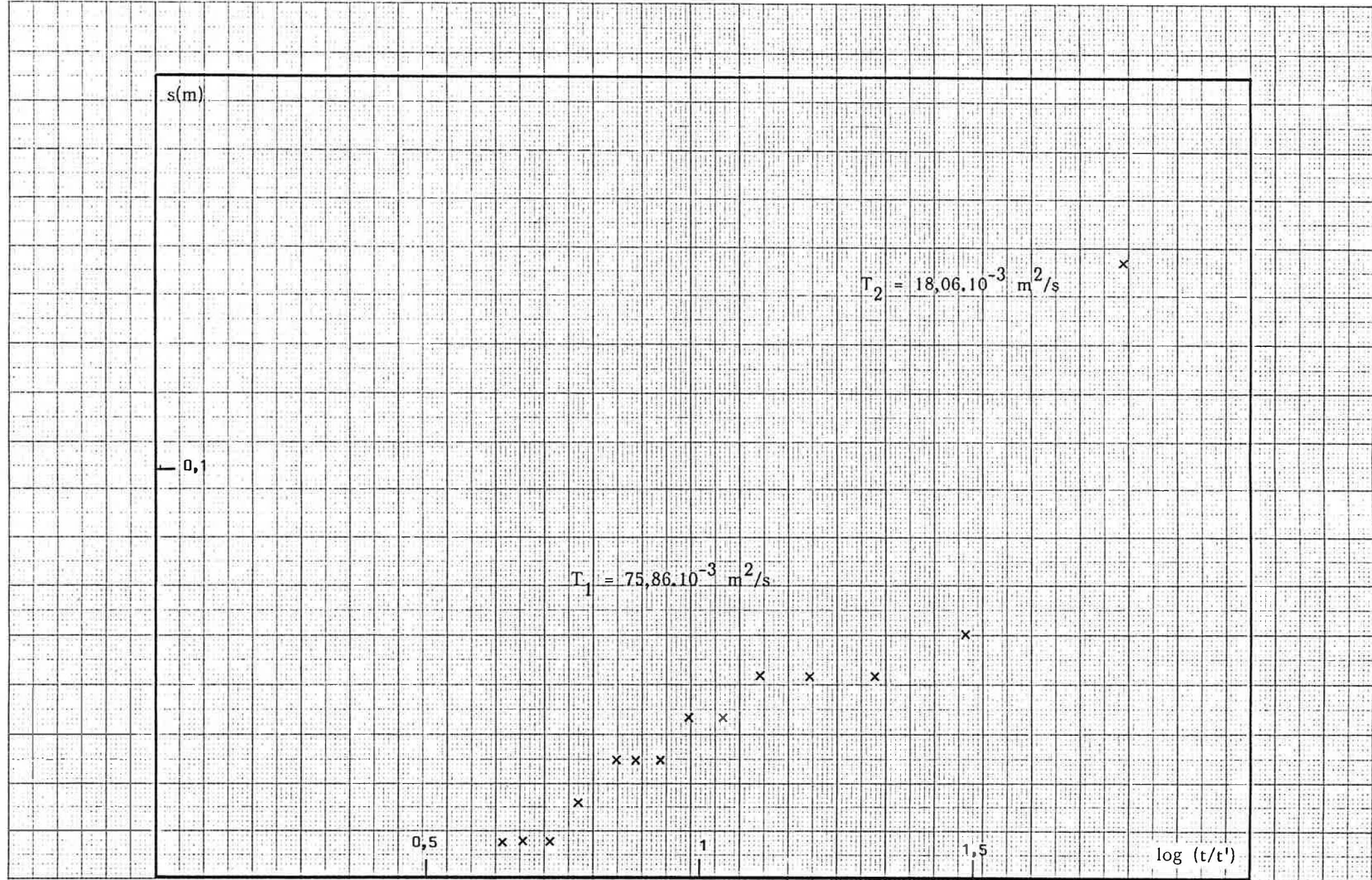
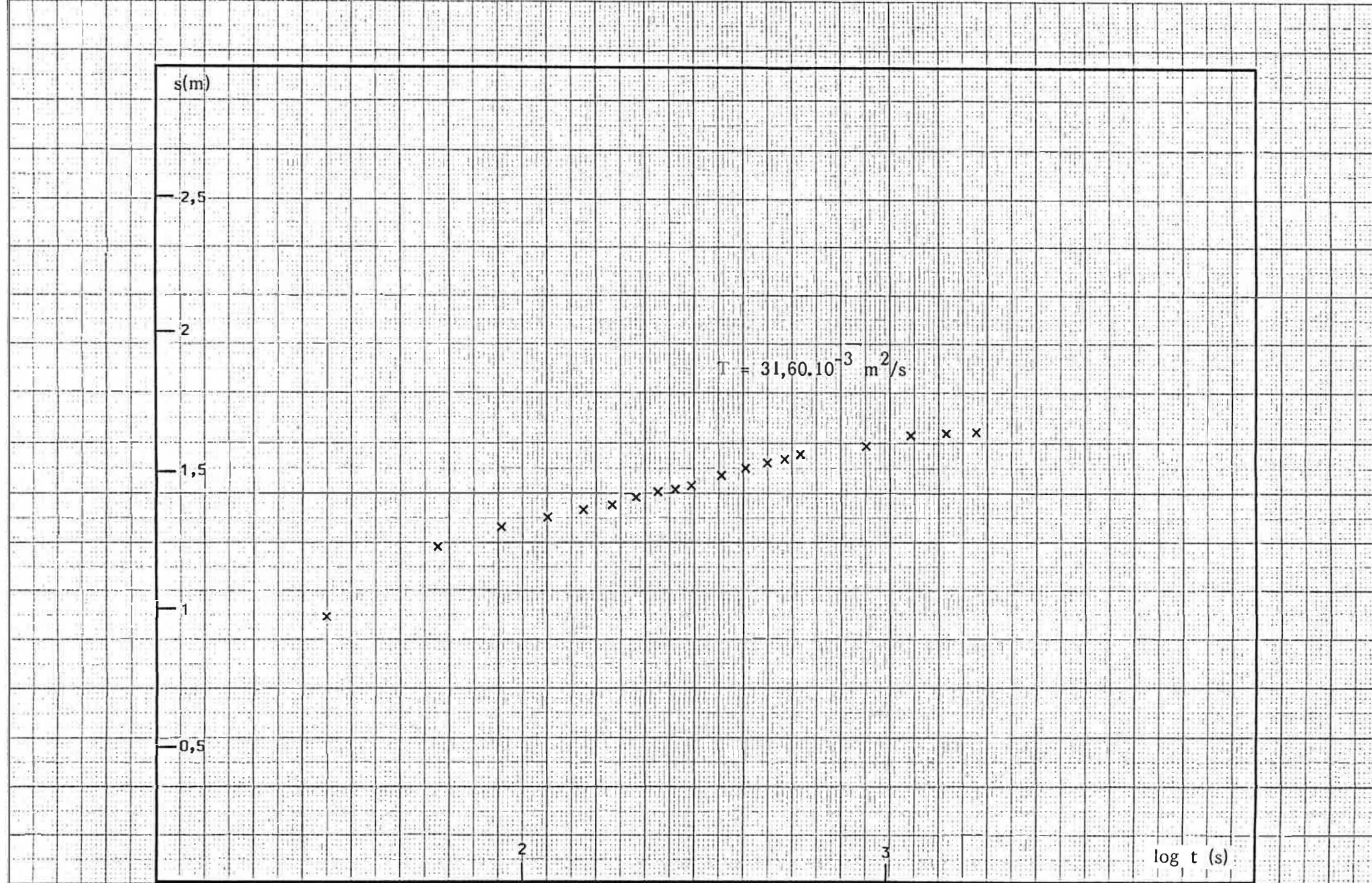


Fig. 33 - KAFUBU - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 106,6 \text{ m}^3/\text{h}$)



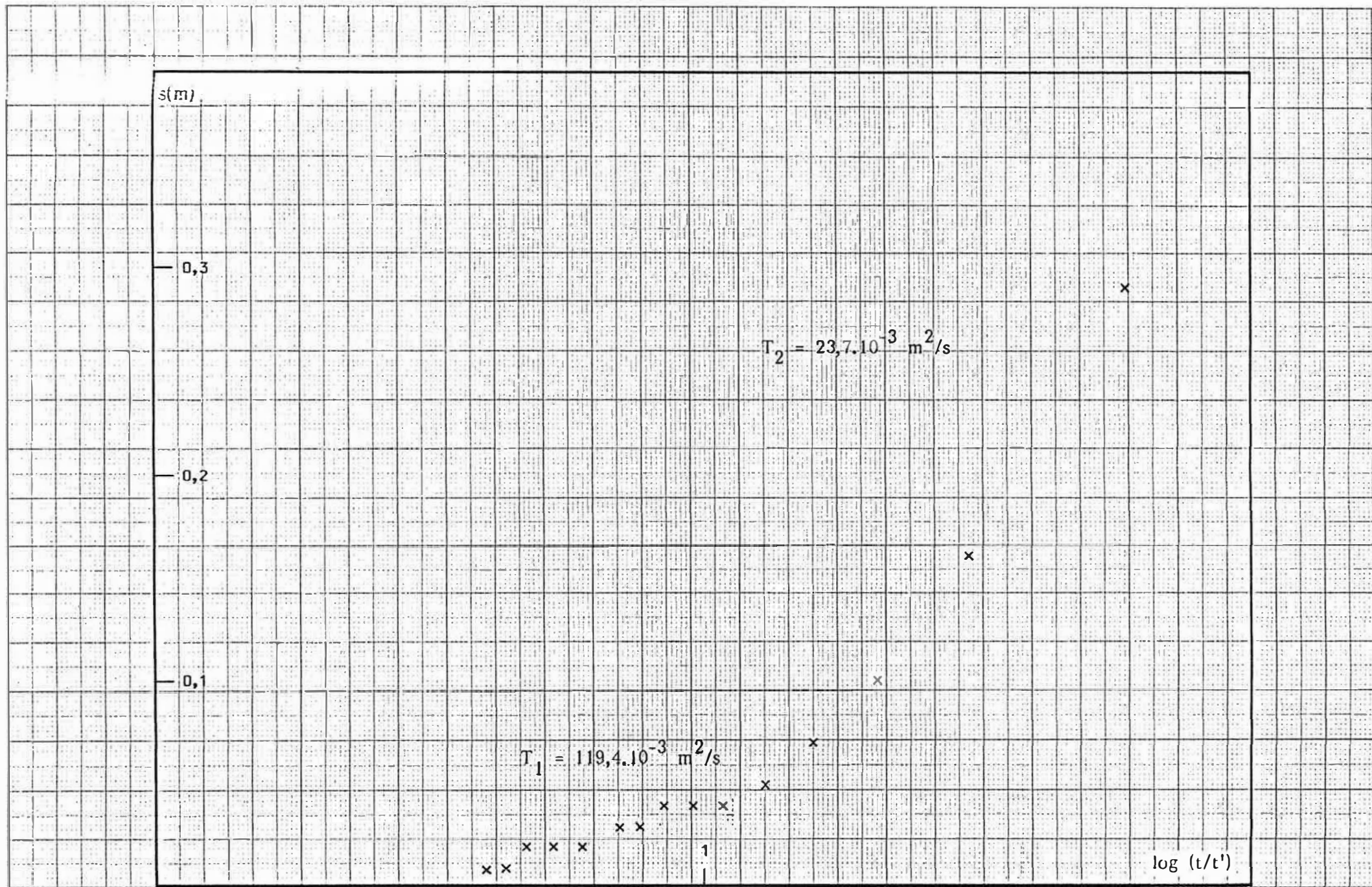


Fig. 35 - KAFUBU - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 186,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

le débit Q de chaque palier.

Tableau 15 - KAFUBU - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier

Q (m^3/h)	59,2	106,6	186,6
s (m)	0,41	0,825	1,635
Q/s	144,39	129,21	114,13
s/Q	0,00693	0,00774	0,00876

La courbe débits/rabattements (dite "courbe caractéristique") est repris sur la figure 36.

Le débit spécifique pour un débit de $50 m^3/h$ est :

$$Q/s = 156,3 m^3/h/m$$

Le méthode de THEIS appliquée sur les valeurs obtenues lors du dernier palier de pompage nous permet d'estimer la transmissivité T (fig. 34 et 35) :

$$T = kd = 30.10^{-3} \text{ à } 120.10^{-3} m^2/s$$

Le rabattement total(s) est fonction du débit; pour le forage KAFUBU on a la relation :

$$Q = C'.s^n = 124,3 s^{0,83}$$

Le coefficient $n = 0,83$ atteste que les pertes de charge sont faibles et que le rabattement est une fonction quasi linéaire du débit.

Le rabattement s en fonction des pertes de charge est donné par l'expression :

$$s = BQ + CQ^2 \text{ (} Q \text{ en } m^3/h \text{)}$$

Pour le forage KAFUBU on a (fig. 37) :

$$s = 0,00614 Q + 0,000014 Q^2$$

Pour un débit d'exploitation de $50 m^3/h$ on a :

$$s = 0,307 m + 0,035 m = 0,342 m$$

Le pourcentage des pertes de charge dû à l'écoulement laminaire est $(BQ/s).100 = (0,307/0,342).100 = 89,8 \%$.

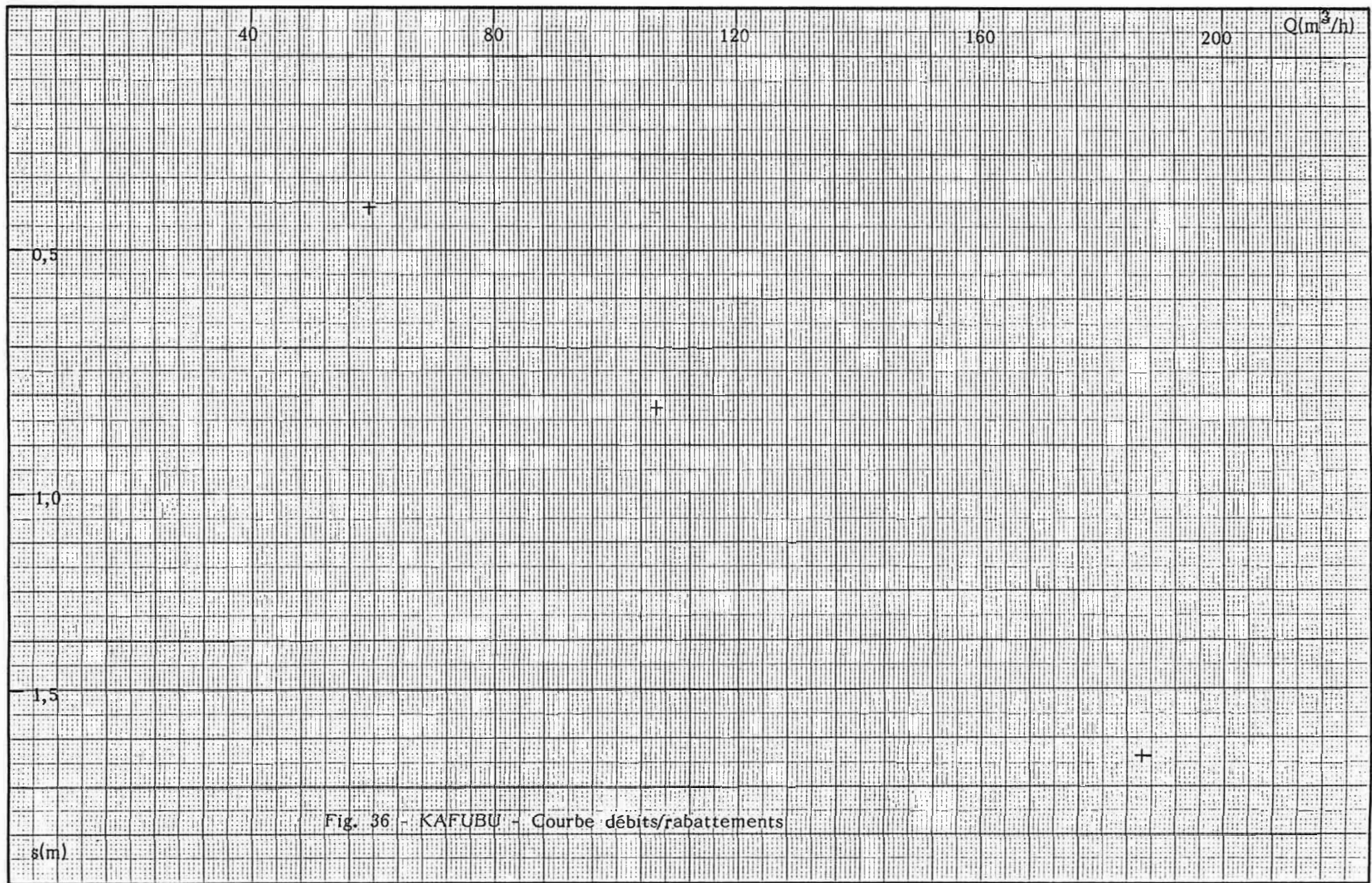


Fig. 36 - KAFUBU - Courbe débits/rabattements

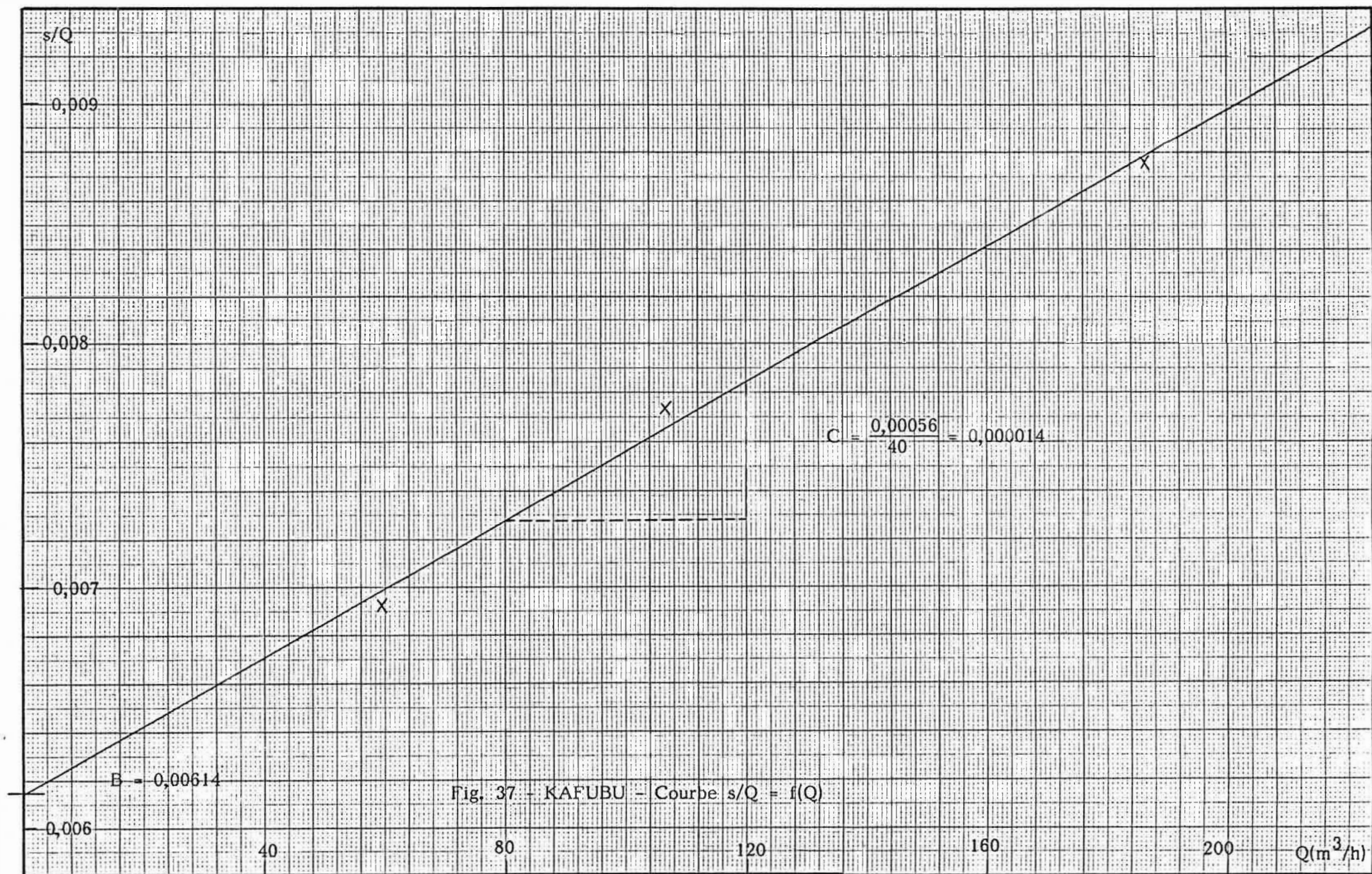


Fig. 37 - KAFUBU - Courbe $s/Q = f(Q)$

2.5.4.4.4. Essai de sable

Après un développement par air-lift pendant 23 1/2 heures et un pompage pendant 31 1/3 heures, l'eau était exempte de sable, mais contenait une faible teneur en argile.

2.5.4.4.5. L'analyse physico-chimique de l'eau

A la fin de l'essai de pompage, deux échantillons d'environ 1 litre chaque ont été prélevés (28 avril 1987). Les analyses ont été faites à BRUXELLES. Les résultats des analyses complètes (25 éléments et ion majeurs) sont représentés dans le tableau 16.

Tableau 16 - KAFUBU - Analyse chimique de l'eau de la nappe du calcaire de KAKONTWE

Elément ou ion	Unité	Valeur
pH	-	7,85
Conductivité	µS/cm	550
TAC	°F	22
TAF	°F	7
TAC-TAF	°F	29
TH	°F	22,5
Na+K	°F	6,5
Cl	mg/l	33
SO ₄	mg/l	20
NO ₃	mg/l	0
NH ₄	mg/l	0
Fe	mg/l	0,0193
Mn	mg/l	0,0252
NO ₂	mg/l	-
HCO ₃	mg/l	-
P ₂ O ₅ /P ₀₄	mg/l	-
CO ₃	mg/l	-
Ca	mg/l	47,9
Mg	mg/l	23,4
Na	mg/l	22,7
K	mg/l	2
Al	mg/l	0,0698
Pb	mg/l	-
Cd	mg/l	-
Cu	mg/l	0,0185
Ni	mg/l	0,0474
As	mg/l	-
Ba	mg/l	0,033
Cr	mg/l	0,010
Zn	mg/l	-
Ag	mg/l	-
Sb	mg/l	-
Se	mg/l	0,0326
B	mg/l	0,0208
SiO ₂	mg/l	14,5
Sr	mg/l	0,1309
P	mg/l	0,0602
C	mg/l	0
Li	mg/l	0

C'est une eau caractérisée par une minéralisation bicarbonatée calcique et magnésienne. La dureté totale est de 22,5°F. L'eau contient peu de chlorures et de sulfates et est exempte en nitrates.

On observe aussi une minéralisation plus élevée due à une teneur en Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} relativement plus élevée, quoique en valeur absolue toujours faible. Ceci atteste une faible pollution (naturelle ou anthropique), mettant bien en évidence la fragilité de l'aquifère due à son faible pouvoir de filtration et nécessitant l'observation rigoureuse des mesures de prévention et de protection préconisées.

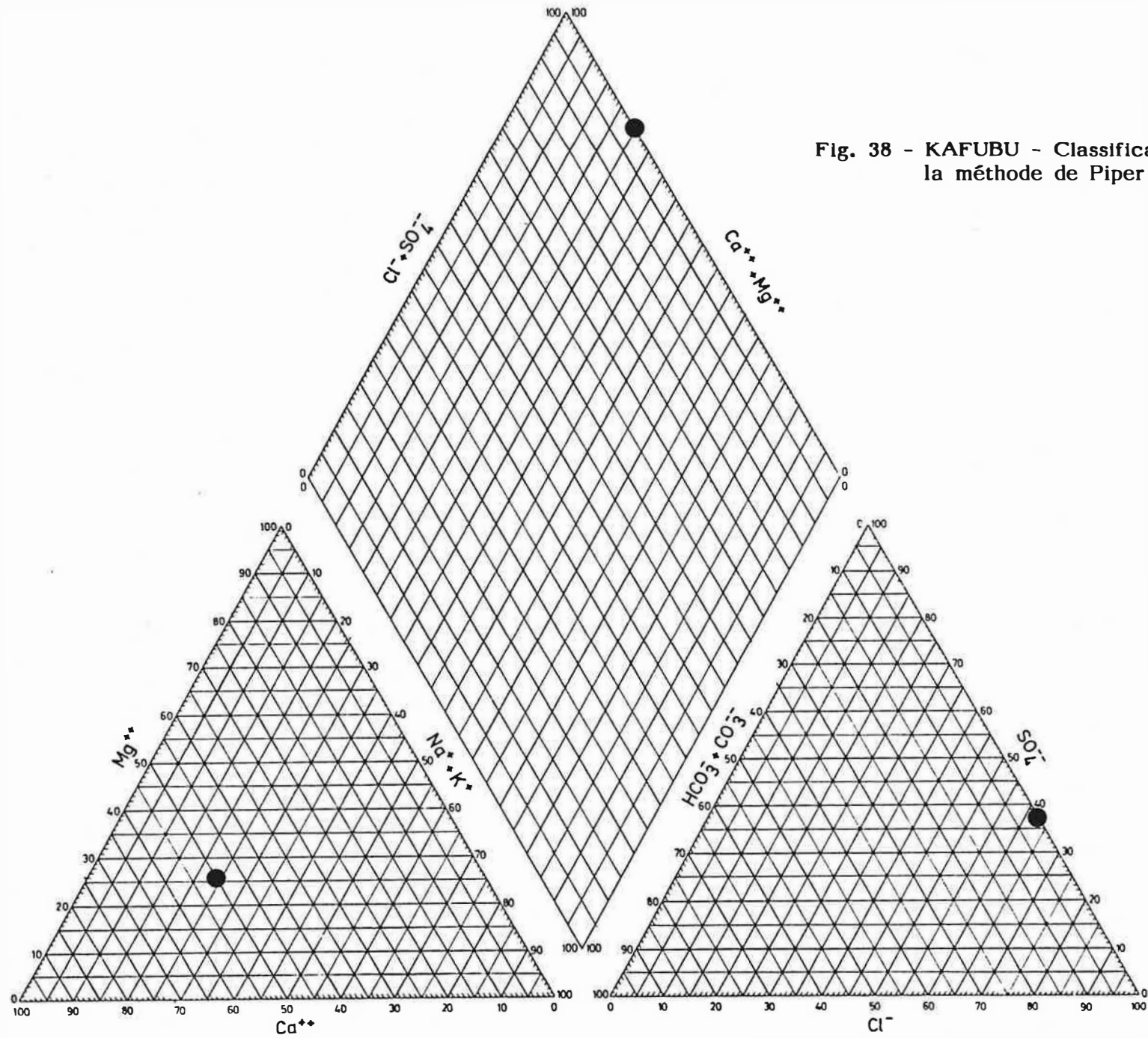
La classification selon la méthode de PIPER est représentée dans le tableau 17 et sur la figure 38.

Tableau 17 - KAFUBU - Classification selon la méthode de PIPER.

$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	25,7 %	Cl^-	62,3 %
Mg^{2+}	24,4 %	$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	0,0 %
Ca^{2+}	49,9 %	SO_4^{2-}	37,7 %

Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS sauf le sélénium (valeur recommandée : 0,01 mg/l; valeur à KAFUBU : 0,0326 mg/l).

Fig. 38 - KAFUBU - Classification selon la méthode de Piper



2.6. CONCLUSIONS

L'alternance saison des pluies et saison sèche est la principale caractéristique climatologique de la région.

Les températures moyennes mensuelles sont situées entre 17 et 24° C.

La hauteur d'eau tombée annuellement dans la région de LUBUMBASHI est de 1250 mm.

La région de LUBUMBASHI est constituée d'un vaste plateau recouvert de savanne boisée. Il est traversé par deux alignements de collines du ROAN. Le plateau est drainé par la KAFUBU et ses affluents.

La région de LUBUMBASHI est caractérisée par trois structures géologiques majeures, qui sont d'Ouest en Est :

- . l'anticlinal de LUPUTO,
- . le synclinal de LUBUMBASHI,
- . l'anticlinal de RUASHI-l'ETOILE.

Les formations du KATANGIEN d'âge précambrien sont subdivisées en trois unités :

- . KUNDELUNGU Supérieur,
- . KUNDELUNGU Inférieur,
- . ROAN.

Le KUNDELUNGU donne lieu à des hauts plateaux pénéplanés. Le synclinal de LUBUMBASHI est constitué des formations du KUNDELUNGU.

Le ROAN marque le relief par des collines et une morphologie accidentée.

Les ressources actuellement exploitées sont :

- . sources captées de KASAPA
- . sources captées et galerie drainante de KIMILOLO
- . 1 puits à RUASHI et l'eau de la carrière de RUASHI.

Les formations susceptibles d'être retenues pour l'alimentation en eau de LUBUMBASHI et qui font l'objet de reconnais-

sances complémentaires sont :

- . les "calcaires de KAKONTWE" du KUNDELUNGU inférieur,
- . les horizons perméables du "ROAN".

Trois zones ont été retenues pour des forages de reconnaissance :

- . KARAVIA
- . CAMPUS
- . KAFUBU.

Le forage à KARAVIA est située à 15 km au WNW de LUBUMBASHI à une altitude d'environ 1225 m. Le terrain est situé au droit des calcaires de KAKONTWE sur le flanc Nord-Est de l'anticlinal de LUPUTO.

Le forage avait une profondeur de 84,9 m. La couverture argilo-latéritique était de 31,2 m. La nappe aquifère consistait de dolomie grise, plus au moins argileuse et altérée.

Le niveau statique est à 23,57 m sous le niveau du sol.

Trois paliers de pompage ont été réalisés. Le débit spécifique varie entre 1,8 et 5,1 l/s par mètre de rabattement. La transmissivité varie entre $0,343 \cdot 10^{-3}$ et $23,59 \cdot 10^{-3}$ m²/s. L'eau était exempte de sable mais contenait une faible teneur en argile.

C'est une eau caractérisée par une minéralisation bicarbonatée calcique et magnésienne. La dureté totale est de 19,6° F. L'eau contient peu de chlorures et de sulfates et est exempte en nitrates. Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS.

Le forage au CAMPUS est situé à 6 km au nord de LUBUMBASHI à une altitude d'environ 1260 m. Le terrain est situé au droit des calcaires de KAKONTWE sur le flanc occidental de l'anticlinal de RUASHI.

Le forage avait une profondeur de 84,0 m. La couverture argilo-latéritique était 65,5 m. La nappe aquifère consistait de dolomie argileuse.

Le niveau statique est à 23,89 m sous le niveau du sol. Trois

paliers de pompage ont été réalisés. Le débit spécifique varie entre 1,3 et 3,2 l/s par mètre de rabattement. La transmissivité varie entre $0,264.10^{-3}$ et $2,52.10^{-3}$ m²/s. L'eau était exempte de sable mais contenait de l'argile. C'est une eau caractérisée par une minéralisation bicarbonatée calcique et magnésienne. La dureté totale est de 20° F. L'eau contient peu de chlorures et de sulfates et est exempte en nitrates. Sauf le manganèse aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS.

Le forage à KAFUBU est situé à 25 km au SW de LUBUMBASHI à une altitude d'environ 1195 m. Le terrain est situé au droit des calcaires de KAKONTWE sur le flanc Sud-Ouest de l'anticlinal de LUPUTO.

Le forage avait une profondeur de 47,0 m. La couverture argilo-latéritique était de 12,0 m. La nappe aquifère consistait de dolomie très altérée avec des vides.

Le niveau statique est à 6,72 m sous le niveau du sol. Trois paliers de pompage ont été réalisés. Le débit spécifique varie entre 31,7 et 40,1 l/s par mètre de rabattement. La transmissivité varie entre $18,06.10^{-3}$ et $119,4.10^{-3}$ m²/s.

L'eau était exempte de sable, mais contenait une faible teneur en argile.

C'est une eau caractérisée par une minéralisation bicarbonatée calcique et magnésienne. La dureté totale est de 22,5° F. L'eau contient peu de chlorures et de sulfates et est exempte en nitrates. Sauf le sélénium aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS.

3. RECONNAISSANCE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE A KAMINA

3.1. CLIMATOLOGIE

L'alternance saison des pluies et saison sèche est la principale caractéristique climatologique de la région. La saison des pluies commence en août et s'achève en avril.

Les températures moyennes mensuelles sont toujours situées entre 21 et 23° C. Les minima peuvent descendre à 10° en juin. Les maxima peuvent atteindre 35° au début de la saison des pluies.

A la saison sèche, les vents viennent de l'Est et du Sud-Est. Les vents sont assez forts, 40 km/h en moyenne avec des pointes à 140 km/h.

A la saison des pluies, le régime est inversé; les vents viennent du WNW et du WSW avec une vitesse moyenne de 20 km/h et des pointes de 35 km/h.

La hauteur d'eau moyenne tombée annuellement dans la région de KAMINA est de 1350 mm.

Les paramètres climatiques ont été enregistrés à la base de KAMINA jusqu'en 1960.

Dans le tableau 18 on donne les valeurs mensuelles moyennes sur 9 ans de 1952 à 1960 des précipitations (P), des températures maximales, minimales et moyennes.

Tableau 18 - Précipitations et températures à la base de
KAMINA

Mois	P (mm)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	T _{moy} (°C)
A	17,8	30,1	15,9	22,6
S	47,9	30,3	17,5	23,2
O	88,5	29,0	17,7	22,3
N	160,0	27,6	17,6	21,3
D	261,9	27,1	17,8	21,2
J	245,5	27,2	17,8	21,1
F	197,5	27,3	17,8	21,1
M	187,9	27,8	18,0	21,5
A	139,7	28,2	17,8	22,0
M	5,1	29,0	16,3	22,1
J	0,0	28,4	14,5	21,1
J	0,0	28,8	14,2	21,2
TOTAL ANNUEL 1 351,8 mm				

3.2. RELIEF ET GEOMORPHOLOGIE

La région de KAMINA (longitude 25°00E, latitude 8°46'S) est située en bordure méridionale du bassin du ZAIRE. La ville est située sur un plateau à 1100 m d'altitude s'abaissant vers le NNW. A une dizaine de km au Sud de la ville, le plateau est coupé par la vallée de la LOVOI s'écoulant d'Ouest en Est à la cote moyenne de 1000 m.

3.3. GEOLOGIE

Le substratum rocheux que l'on trouve entre 35 et 60 m de profondeur est constitué de granite avec quelques laves doléritiques et rhyolites affectant le soubassement anté-KIBARIEN (Précambrien). Localement, il est surmonté d'une couche d'argile d'altération dont l'épaisseur peut atteindre 15 m. Le substratum est affleurant dans la vallée de la LOVOI, rivière située 10 km au Sud de KAMINA.

Ce substratum est affecté par une structure synclinale orientée NE-SW avec ennoyage vers le NE et dont l'axe a été emprunté par le LOMAMI. En outre, il est affecté par des accidents tectoniques orientés E-W et N-S.

Le soubassement granitique est surmonté par les formations du KALAHARIEN :

- . KALAHARIEN inférieur (Paléogène) : 20 à 30 m de grès polymorphes,
- . KALAHARIEN supérieur (Néogène) : 10 à 20 m de sable fin.

3.4. HYDROGEOLOGIE

3.4.1. Ressources actuellement exploitées

La REGIDESO exploite à ce jour 7 puits dont 6, d'une profondeur de 20 à 28 m, ont été creusés en 1952 jusque dans le KALAHARIEN inférieur constitué de grès; le dernier, qui date de 1977, a été limité à une profondeur de 16 m après avoir atteint vraisemblablement le toit du KALAHARIEN inférieur.

Globalement, ces puits fournissent entre 1 800 m³/j en saison sèche et 2 400 m³/j en saison des pluies. Le rabattement atteint 5 m, le niveau statique de la nappe est de 0,50 m sous le niveau du sol en saison des pluies et de 3 m en saison sèche.

Au Nord-Ouest des captages actuels, il existe une batterie de 6 forages réalisés en 1977, qui n'a pas été mise en service car elle est improductrice.

La nappe souterraine des sables et grès du KALAHARIEN est aussi exploitée par des puits domestiques dont le prélèvement quantitatif global est négligeable en regard des volumes pompés par la REGIDESO et par le puits de la brasserie SIMBA (500 m³/jour).

3.4.2. Analyse des potentialités aquifères

La ville de KAMINA est située légèrement au Nord de la ligne de partage des eaux s'écoulant d'une part vers le Sud et se jetant dans la LOVOI et d'autre part vers les cours d'eau du Nord-Ouest.

La densité des cours d'eau au Sud de KAMINA s'écoulant sur le socle anté-KIBARIEN est importante alors que l'aire d'alimentation est faible. Cette observation atteste que le socle anté-KIBARIEN à partir d'une certaine profondeur est imperméable et donne lieu à un écoulement superficiel.

Au Nord, par contre, où l'anté-KIBARIEN n'affleure pas, la densité des cours d'eau est faible, alors que la zone d'alimentation est grande. Ceci atteste que l'écoulement est essentiellement souterrain.

Les sources que l'on observe au Sud de la ville ne sont pas localisées au contact soubassement granitique et KALAHARIEN, mais quelques mètres sous le toit de l'anté-KIBARIEN, là où il est fracturé.

Il en ressort que la seule potentialité aquifère souterraine suffisante est celle des sables, grès et granite fracturé située au Nord de KAMINA.

3.5. SYNTHESE ET CONCLUSIONS DE LA RECONNAISSANCE GEOELECTRIQUE

De la synthèse de la reconnaissance géoélectrique, il ressort que :

- . les couches superficielles au-dessus de la nappe constituées de sable fin ont des résistivités de 1 000 à 100 000 ohm. m jusqu'à 3 m de profondeur,
 - . les sables et grès du KALAHARIEN, saturés, ne sont généralement pas, du point de vue résistivité, différenciables.
- Les résistivités vont de 2 000 à 8 000 ohm.

Ces valeurs de résistivités élevées pour des formations saturées, s'expliquent par la très faible minéralisation de l'eau.

En effet, la conductivité des formations aquifères est due à la conductivité de l'eau, elle-même une conséquence de sa minéralisation,

- . le soubassement granitique est trouvé à des profondeurs variables (20 à 60 m); quand il est fracturé il a une résistivité de l'ordre de 200 à 1 000 ohm.m.,
- . sous les grès, on "accroche" localement de l'argile d'altération du soubassement ou du granite fortement altéré, caractérisés par des résistivités inférieures à 80 ohm.m.,
- . l'essentiel de la nappe se trouve dans les grès et les sables fins et la meilleure transmissivité dans les grès fracturés qui ont des résistivités plus importantes.

On a dès lors intérêt à implanter les forages au droit des zones où la résistance transversale, c'est-à-dire le produit de la résistivité et de l'épaisseur, est la plus élevée,

- . la figure 39, carte des résistances transversales, met en évidence 3 zones favorables :

- Zone 1 à l'Ouest, d'une surface de 1,5 km sur 1,5 km et au droit de 2 failles orientées Nord-Sud. La résistance transversale y est située entre 90 000 et 200 000 ohm.m².
- Zone 2, au centre, zone triangulaire de 3,5 km sur 2 km, traversée à l'Ouest par une faille orientée Nord-Sud. La résistance transversale y est située entre 90 000 et 200 000 ohm.m².
- Zone 3 à l'Est de 3 km sur 2 km, avec une résistance transversale également entre 90 000 et plus de 200 000 ohm.m².

Entre ces zones majeures, on trouve localement des aires réduites : 500 m sur 500 m avec des résistances transversales favorables.

REGIDESO

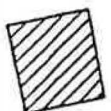


— ROUTE

- - - PISTE


- - - PISTE

~ RIVIERE

 ZONE D'HABITATION

 CHEMIN DE FER

— + + — LIGNE HAUTE TENSION

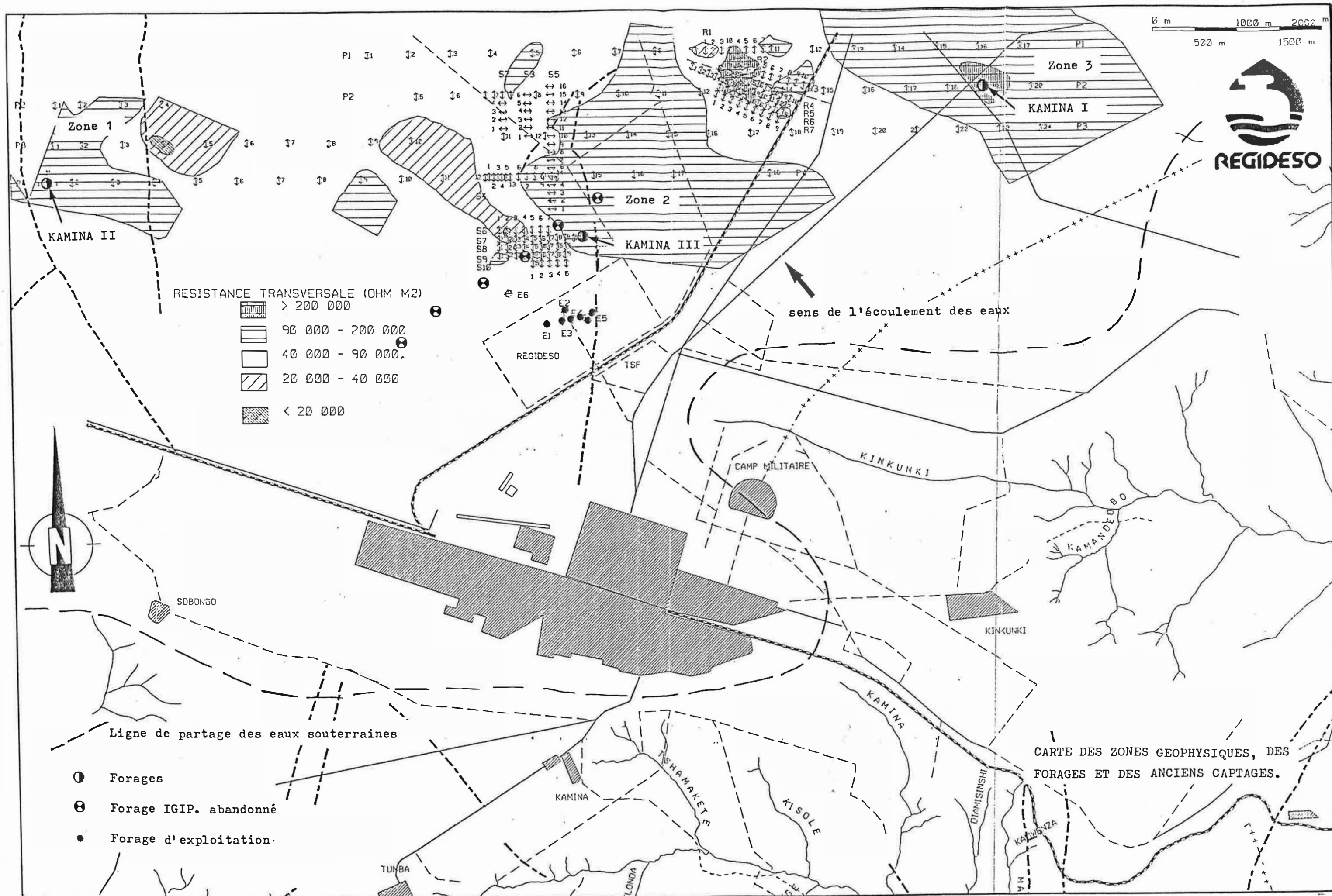
 LINEAMENT (FAILLE) PHOTO AERIENNE

 SONDAGE ELECTRIQUE

 PUIITS D'ALIMENTATION

○ FORAGE DE RECONNAISSANCE

LEGENDE GENERALE DE LA FIGURE 39



- . Les forages de reconnaissance sont implantés au droit de zones favorables et en ce qui concerne les zones 1 et 2 à proximité des failles détectées par photos aériennes (fig. 39).

3.6. CAMPAGNE DE FORAGES (23.05.87 - 04.07.87)

3.6.1. Introduction

Après l'interprétation des résultats des sondages géoélectriques, tenant compte de l'extension de la nappe aquifère et faisant suite à des considérations d'ordre économique, 3 sites ont été retenues pour des forages de reconnaissance (fig. 39) :

1. P2-19 : KAMINA I
2. P4-1 : KAMINA II
3. S7-11 : KAMINA III

3.6.2. Forage KAMINA I

3.6.2.1. Situation géographique

Le forage se situe à environ 5,8 km au NE de la station de pompage existante, près de la route vers la base. L'altitude est environ 1100 m.

Le terrain est situé au Nord de la ligne de partage des eaux, où l'écoulement est essentiellement souterrain.

3.6.2.2. Phases d'exécution - déroulement des travaux

23.05.87-17.06.87 : Forage en Ø 16 1/2" de 0,0 à 8,0 m
Tube provisoire Ø 18" de 0,0 à 6,0 m
Forage en Ø 16 1/2" de 8,0 à 30,0 m
Tubage Ø 14" de 0,0 à 30,0 m.

18.06.87-20.06.87 : Forage en Ø 12 1/4" de 30,0 à 75,0 m

21.06.87-24.06.87 : Tubage Ø 8" de 0,0 à 75,0 m
Crépines de production de 39,0 à 45,0 m
et de 57,0 à 69,0 m
Gravillonnage par gravité
Développement par air-lift; pompage

- 25.06.87 : Essai de pompage
 Essai de sable
 Prélèvement d'échantillons d'eau
- 26.06.87 : Cimentation de l'espace annulaire
 Fermeture de la chambre de pompage.

3.6.2.3. Caractéristiques techniques du forage

A. Schéma d'exécution

- . Tube guide provisoire Ø 18",
- . Forage en Ø 16 1/2" au rotary avec circulation de la boue bentonitique et revert dans le terrain sableux jusqu'au toit du grès,
- . Mise en place d'un tubage acier Ø 14",
- . Forage en Ø 12 1/4" au rotary avec circulation de la boue bentonitique ou revert jusqu'à la profondeur finale,
- . Mise en place de la crépine et des tubes aveugles Ø 8".

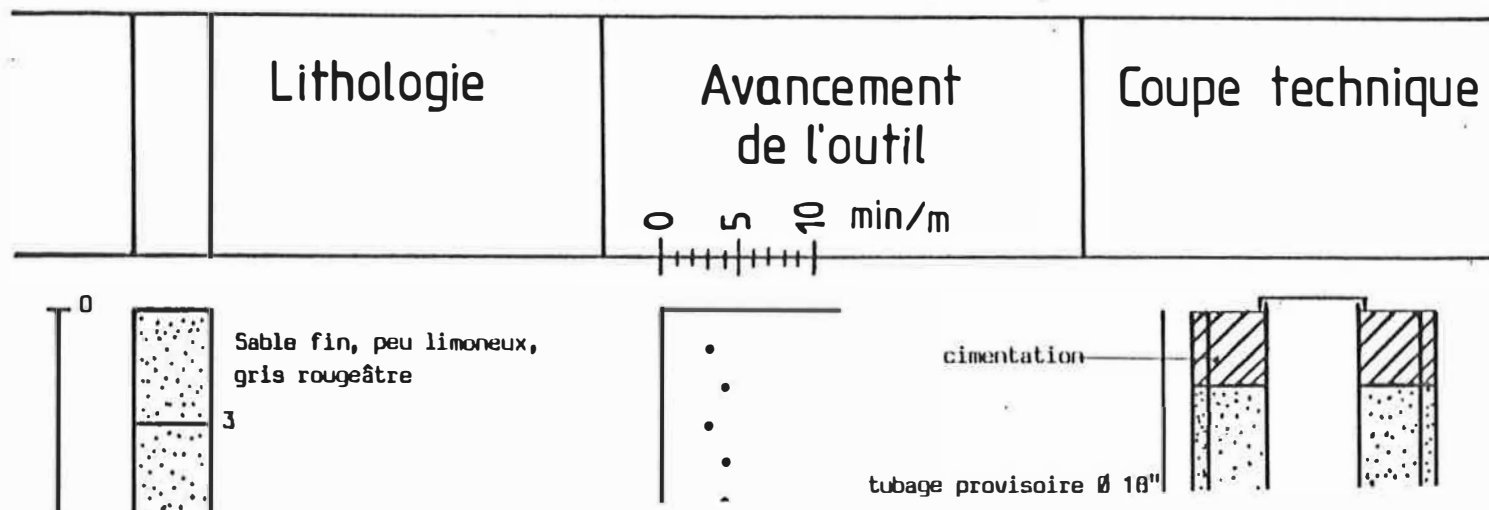
B. Forage

	Profondeur	Longueur
Forage en Ø 16 1/2"	0,0 à 30,0 m	30,0 m
Forage en Ø 12 1/4"	30,0 à 75,0 m	45,0 m

C. Equipement (fig. 40)

Tube guide provisoire Ø 18"	0,0 à 6,0 m	6,0 m
Tube guide Ø 14"	0,0 à 30,0 m	30,0 m
Colonne de captage :		
Tube Ø 8"	+ 0,5 à 39,0 m	39,5 m
Tube crépiné Ø 8" (crépine de production)	39,0 à 45,0 m	6,0 m
Tube Ø 8"	45,0 à 57,0 m	12,0 m
Tube crépiné Ø 8" (crépine de production)	57,0 à 69,0 m	12,0 m
Tube Ø 8" (décantation)	69,0 à 75,0 m	6,0 m

Fig. 40 - Lithologie, vitesse d' avancement de l' outil et coupe technique du forage KAMINA I.



Quantité

Massif filtrant constitué
de gravier de granite (5-10 mm),
tamisé et lavé. 2,0 m³

3.6.2.4. Essais exécutés et résultats

3.6.2.4.1. Description des terrains (fig. 40)

Nature des échantillons	Profondeur en m	
	de	à
Sable fin, peu limoneux, gris rougeâtre	0,0	3,0
Sable fin à très fin, gris rougeâtre	3,0	16,0
Sable très fin, blanc	16,0	25,0
Grès friable, rouge blanchâtre	25,0	30,0
Grès assez dur, rouge blanchâtre	30,0	39,0
Grès très friable, blanc grisâtre	39,0	52,0
Grès jaune, très argileux	52,0	53,0
Grès très friable, blanc grisâtre	53,0	60,0
Granite très altéré	60,0	72,5
Granite altéré	72,5	75,0

Des pertes de boue ont été enregistrées entre 39,0 et 46,0; 47,0 et 51,0; 53,0 et 59,0; 60,0 et 62,0 et entre 64,0 et 65,0 m.

3.6.2.4.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil.

Ce paramètre est repris sur la figure 40. Il met en évidence les horizons de grès dur et le toit du granite.

3.6.2.4.3. L'analyse granulométriques.

Un échantillon des cuttings (A), de nature sableuse et venant d'une profondeur entre 15,0 et 16,0 m a été analysé au Laboratoire de Géologie Appliquée et Hydrogéologie de l'Université de GAND.

Cet échantillon pesait 271,62 g dont le poids de la fraction plus de 2 mm était 0,25 g, soit 0,09 %.

De la fraction moins de 2 mm on a analysé un échantillon de 20,00 g (voir tableau 19 et figure 41).

Tableau 19 - Résultats de l'analyse granulométrique KAMINA I - échantillon D (fraction < 2 mm) (analyse au laboratoire).

Overtures tamis (en μm)	poids (g) (sable)	%	% cumulé
1700,00	0,00	0,00	0,00
1400,00	0,00	0,00	0,00
1180,00	0,00	0,00	0,00
1000,00	0,01	0,05	0,05
850,00	0,01	0,05	0,10
710,00	0,01	0,05	0,15
600,00	0,05	0,25	0,40
500,00	0,17	0,85	1,25
420,00	0,23	1,15	2,40
355,00	0,45	2,25	4,65
297,00	0,60	3,00	7,65
250,00	1,02	5,10	12,75
210,00	0,89	4,45	17,20
180,00	1,15	5,75	22,95
149,00	1,06	5,30	28,25
125,00	1,47	7,35	35,60
105,00	1,93	9,65	45,25
90,00	0,58	2,90	48,15
74,00	1,00	5,00	53,15
63,00	0,38	1,90	55,05
53,00	0,44	2,20	57,25
		% de poids (argile-silt)	
50,00		100,00	57,25
44,00		100,00	57,25
37,00		99,00	57,68
31,00		98,50	57,89
26,00		97,00	58,53
22,00		95,00	59,39
19,00		95,00	59,39
16,00		94,00	59,81
13,00		93,00	60,24
11,00		92,00	60,67
9,30		91,50	60,88
7,80		91,00	61,10
6,60		91,00	61,10
5,50		91,00	61,10
4,60		91,00	61,10
3,90		90,50	61,31
3,30		90,50	61,31
2,80		90,00	61,52
2,32		89,50	61,74
2,00		88,50	62,17
1,64		88,50	62,17
1,38		87,50	62,59
1,16		86,50	63,02
0,98		85,50	63,45

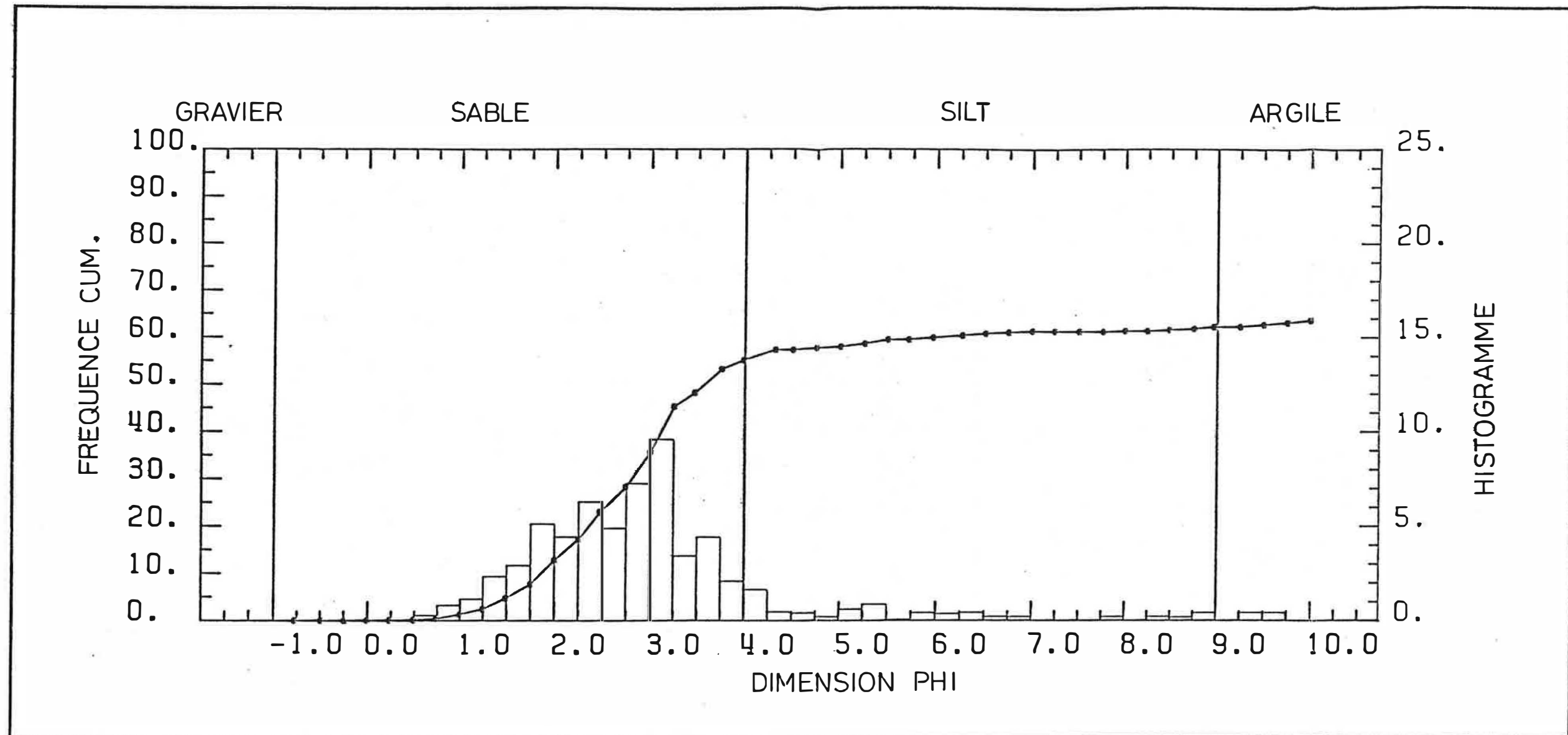


Fig. 41 - Courbe granulométrique de l' échantillon A (KAMINA I).

3.6.2.4.4. Essai de pompage

Les nappes captées sont localisées dans les grès Kalahariens et le granite; le niveau statique est à 8,00 m sous le niveau du sol (25.06.87).

Trois paliers de pompage ont été réalisés. Les résultats des mesures effectuées sur le terrain sont repris dans le tableau 20 et sur les figures 42 à 47.

Le tableau 21 donne le rabattement (s), le débit spécifique (Q/s) et la valeur s/Q pour le débit Q de chaque palier.

Tableau 21 - KAMINA I - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier

Q (m³/h)	7,1	20,6	46,4
s (m)	2,97	10,69	23,37
Q/s	2,39	1,93	1,99
s/Q	0,418	0,519	0,504

La courbe débits/rabattelements (dite "courbe caractéristique") est repris sur la figure 48.

Le débit spécifique pour un débit de 40 m³/h est :

$$Q/s = 2,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

La méthode de THEIS appliquée sur les valeurs obtenues lors du dernier palier de pompage nous permet d'estimer la transmissivité T (fig. 46 et 47) :

$$T = 0,094.10^{-3} \text{ à } 0,2294.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}.$$

Le rabattement total (s) en fonction du débit est donné par l'expression :

$$s = BQ + CQ^2 \text{ (Q en m}^3/\text{h)}$$

Pour le forage KAMINA I on a (fig. 49) :

$$s = 0,435 Q + 0,00182 Q^2$$

Pour un débit d'exploitation de 40 m³/h, on a :

$$s = 0,435 \times 40 + 0,00182 \times 40^2 = 17,40 \text{ m} + 2,91 \text{ m} = 20,31 \text{ m}.$$

Le pourcentage des pertes de charge dû à l'écoulement laminaire est $(BQ/s).100 = (17,4/20,31).100 = 85,7 \%$.

Tableau 2() - Essai de pompage KAMINA I - Résultats des mesures effectuées sur le terrain

Durée de pom- page ou de re- montée	Essai de pompage du forage KAMINA I								
	Niveau d'eau (en m en-dessous du repère)						Hauteur repère/sol : 0,80		
	Palier n° 1 (Q = 7,1 m³/h)			Palier n° 2 (Q = 20,6 m³/h)			Palier n° 3 (Q = 46,4 m³/h)		
	descente	remontée	débit (l/s)	descente	remontée	débit (l/s)	descente	remontée	débit (l/s)
0	8,80	11,77		8,80	19,49		8,80	32,17	
30"	9,83	10,88		16,03	11,27		18,82	25,24	
1'	10,06	10,43		17,88	10,16		26,71	20,72	
1'30"	10,17	9,99		18,32	9,73		27,00	16,93	
2'	10,28	9,76		18,48	9,32		27,16	12,99	
2'30"	10,35	9,62		18,99	9,11		27,85	10,70	
3'	10,39	9,51		19,31	9,01		28,34	9,63	
3'30"	10,41	9,42		19,37	8,94		28,74	9,05	
4'	10,44	9,34		19,40	8,90		29,38	8,91	
4'30"	10,59	9,31		19,40	8,88		30,24	8,89	
5'	10,64	9,28	2,00	19,41	8,88	5,71	30,82	8,87	12,88
6'	10,78	9,20		19,41	8,86		31,00	8,85	
7'	10,90	9,14		19,41	8,85		31,22	8,84	
8'	11,00	9,11		19,41	8,85		31,51	8,83	
9'	11,21	9,10		19,40	8,84		31,64	8,83	
10'	11,29	9,09	1,96	19,42	8,83	5,79	31,74	8,83	12,87
15'	11,55	8,98		19,42	8,81		31,87	8,81	
20'	11,71	8,90		19,46	8,81		31,96	8,81	
25'	11,76	8,85		19,47	8,80		32,04	8,81	
30'	11,77	8,82	1,92	19,47	8,80	5,66	32,08	8,81	12,89
35'	11,77	8,81		19,47	8,80		32,11	8,80	
40'	11,765	8,80		19,48	8,80		32,12	8,80	
45'	11,765	8,80		19,49	8,80		32,14	8,80	
50'	11,77	8,80		19,49			32,14	8,80	
55'	11,77	8,80		19,49			32,15	8,80	
60'	11,77	8,80		19,49			32,17	8,81	
75'							32,17		
90'							32,17		

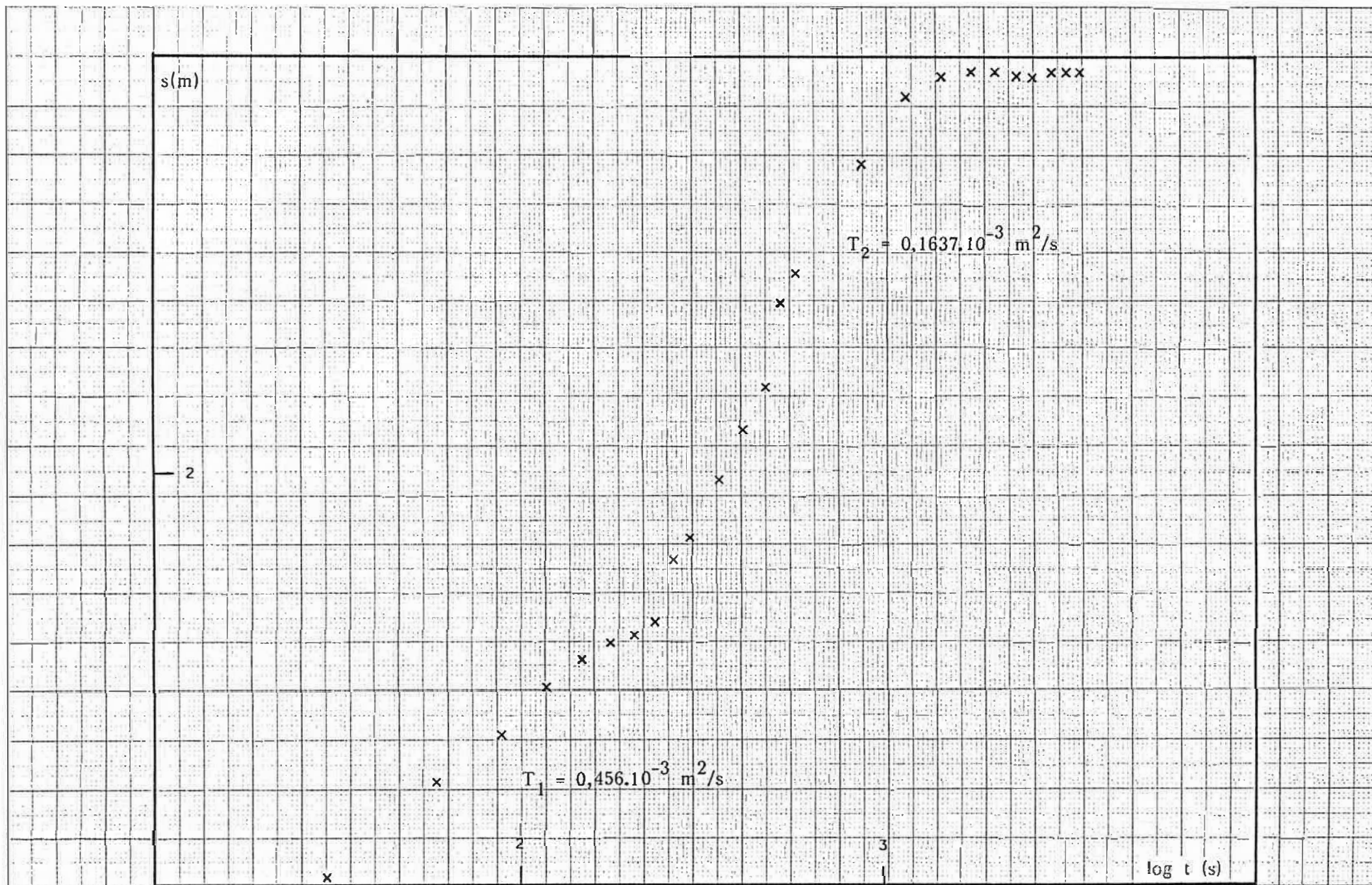


Fig. 42 - KAMINA I - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 7,1 \text{ m}^3/\text{h}$)

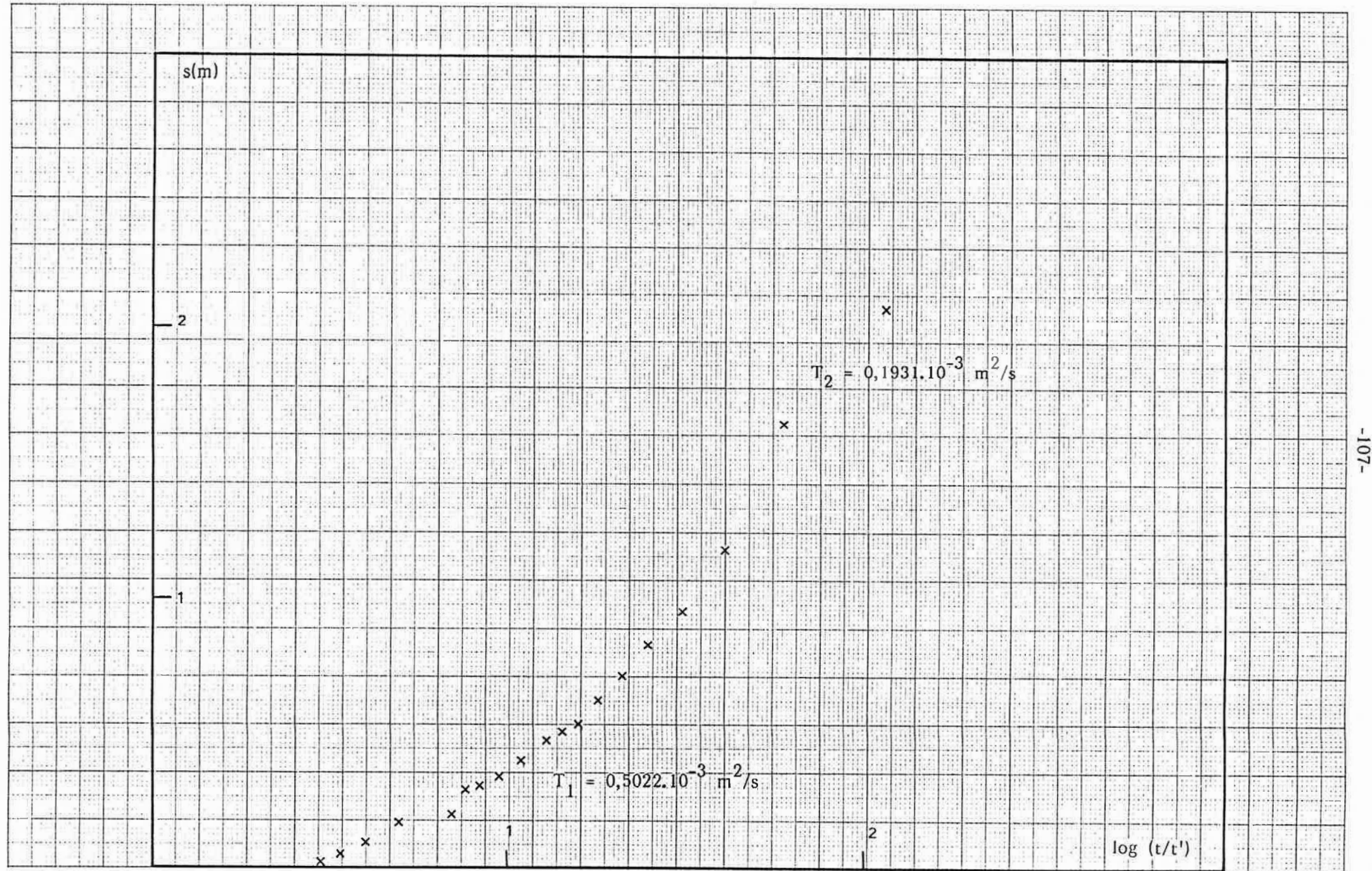


Fig. 43 - KAMINA I - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 7,1 \text{ m}^3/\text{h}$)

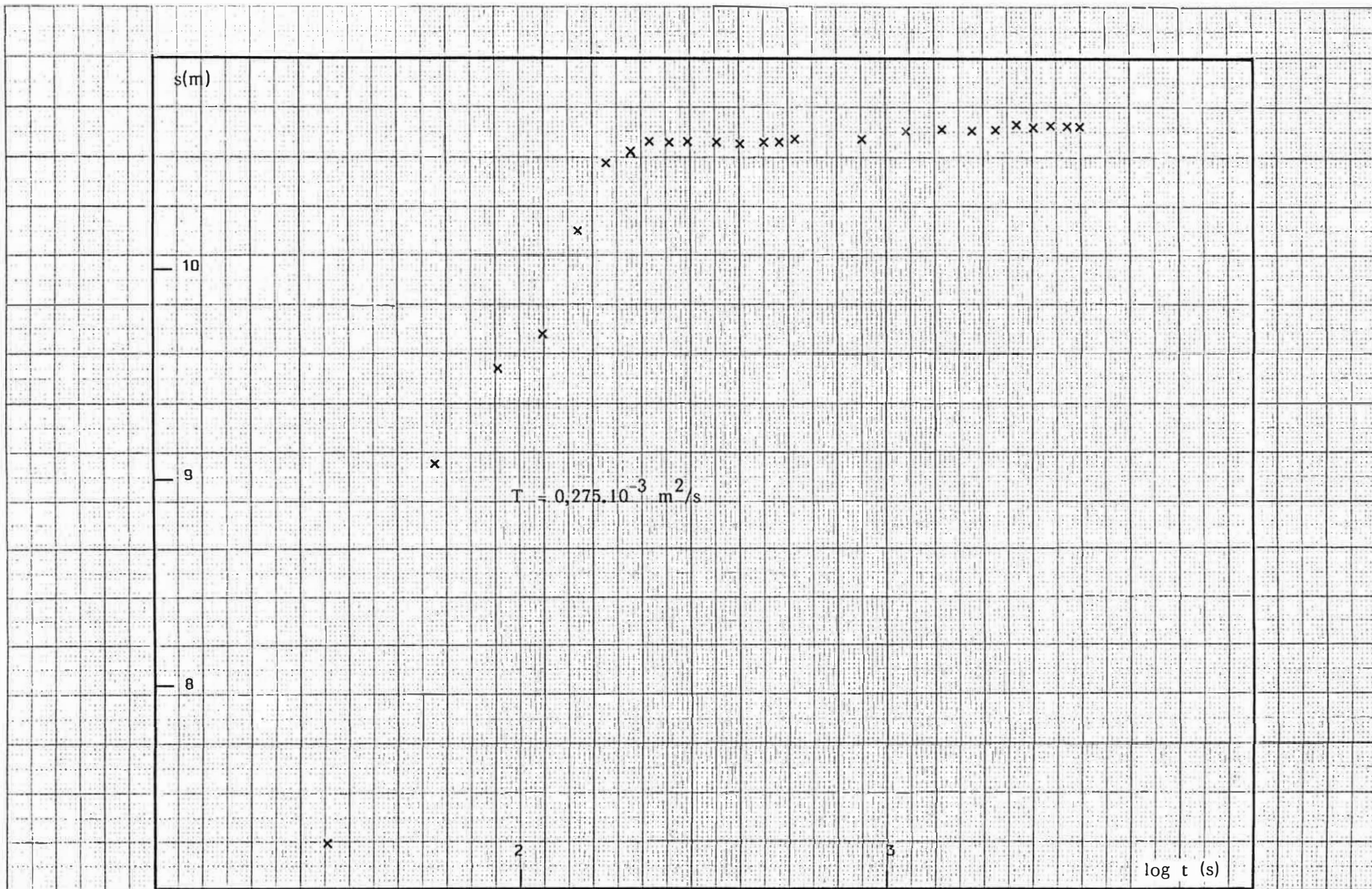


Fig. 44 - KAMINA I - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 20,6 m^3/h$)

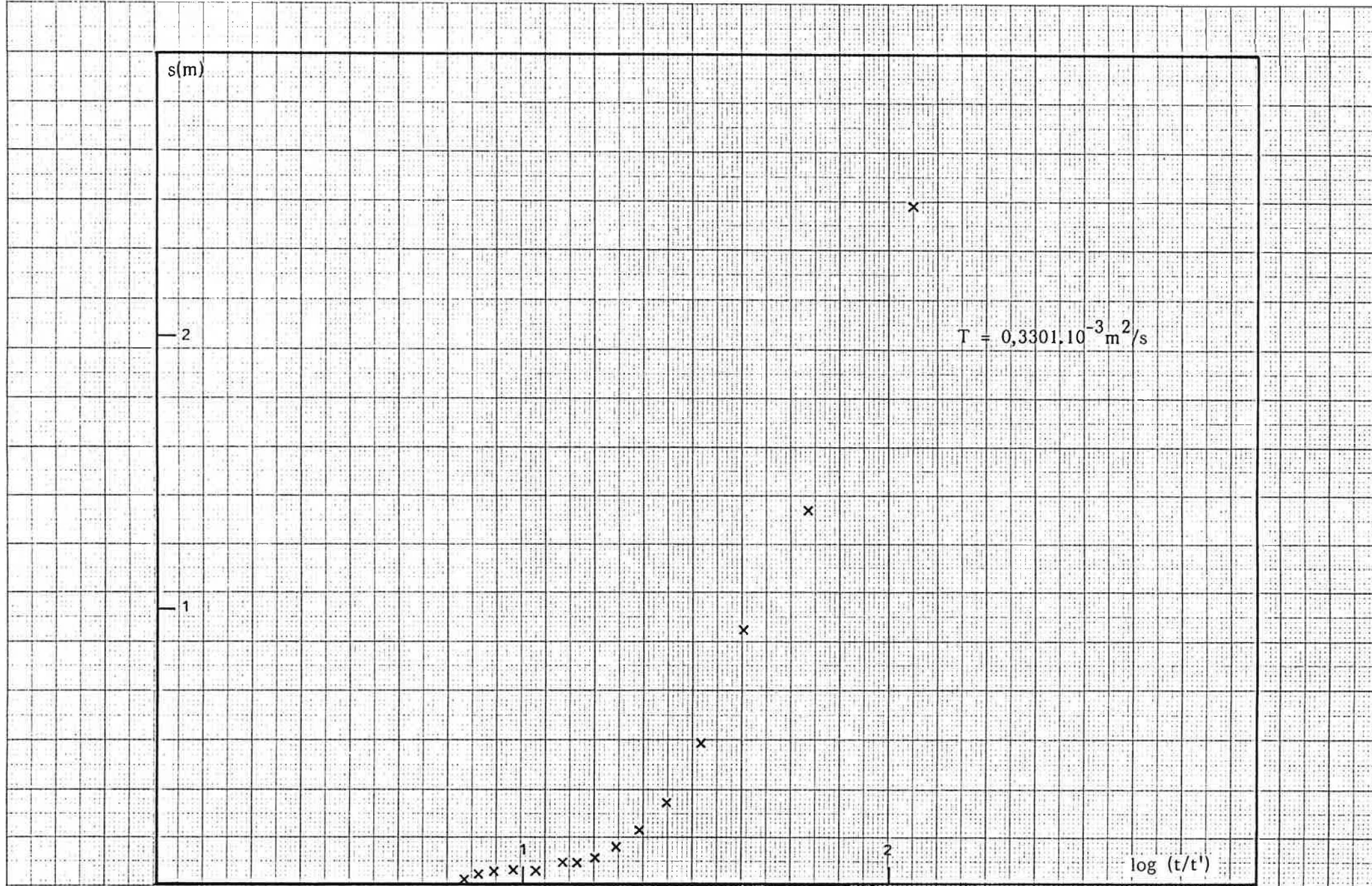


Fig. 45 - KAMINA I - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 20,6 \text{ m}^3/\text{h}$)

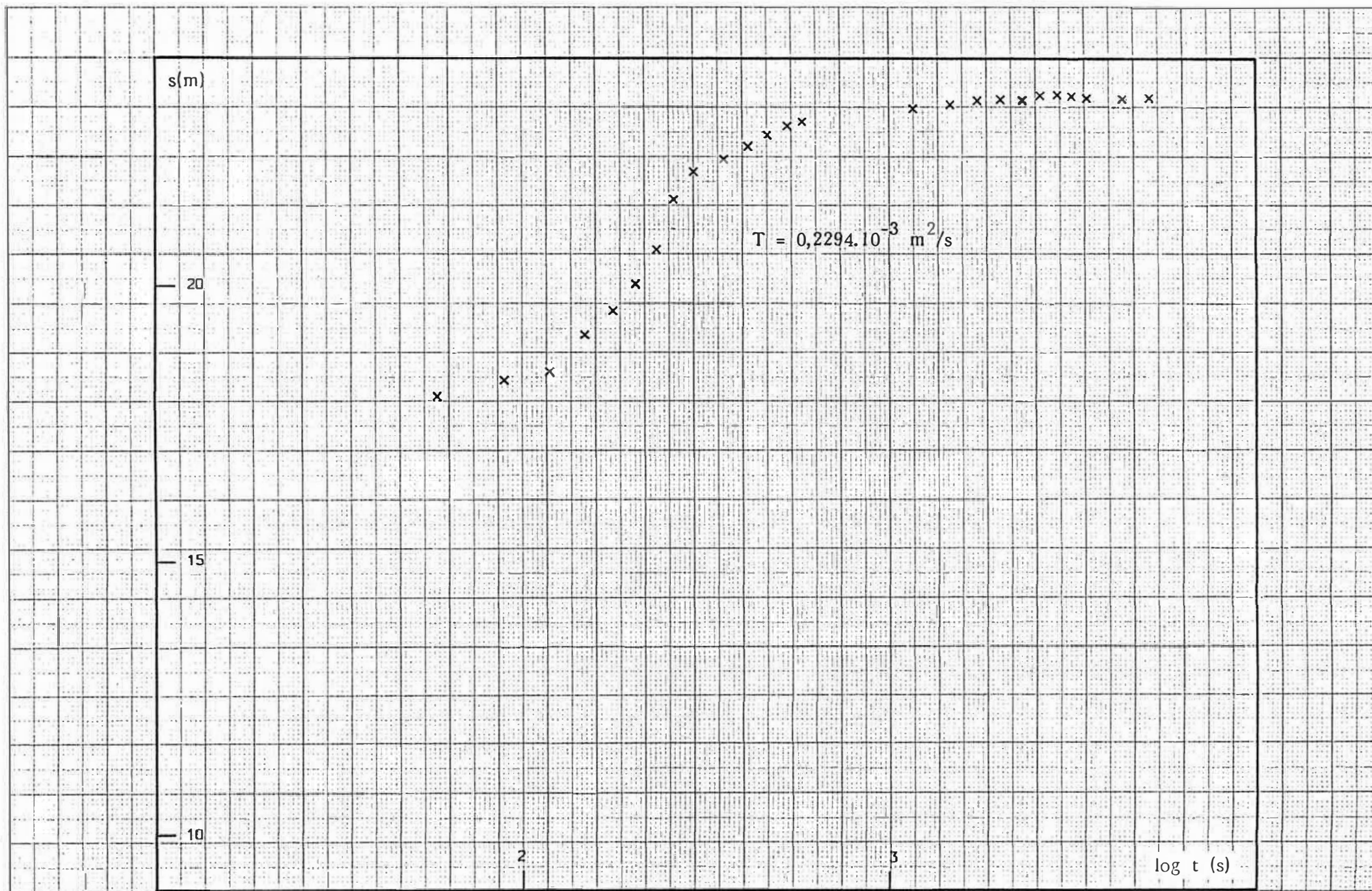


Fig. 46 - KAMINA I - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 46,4 \text{ m}^3/\text{h}$)

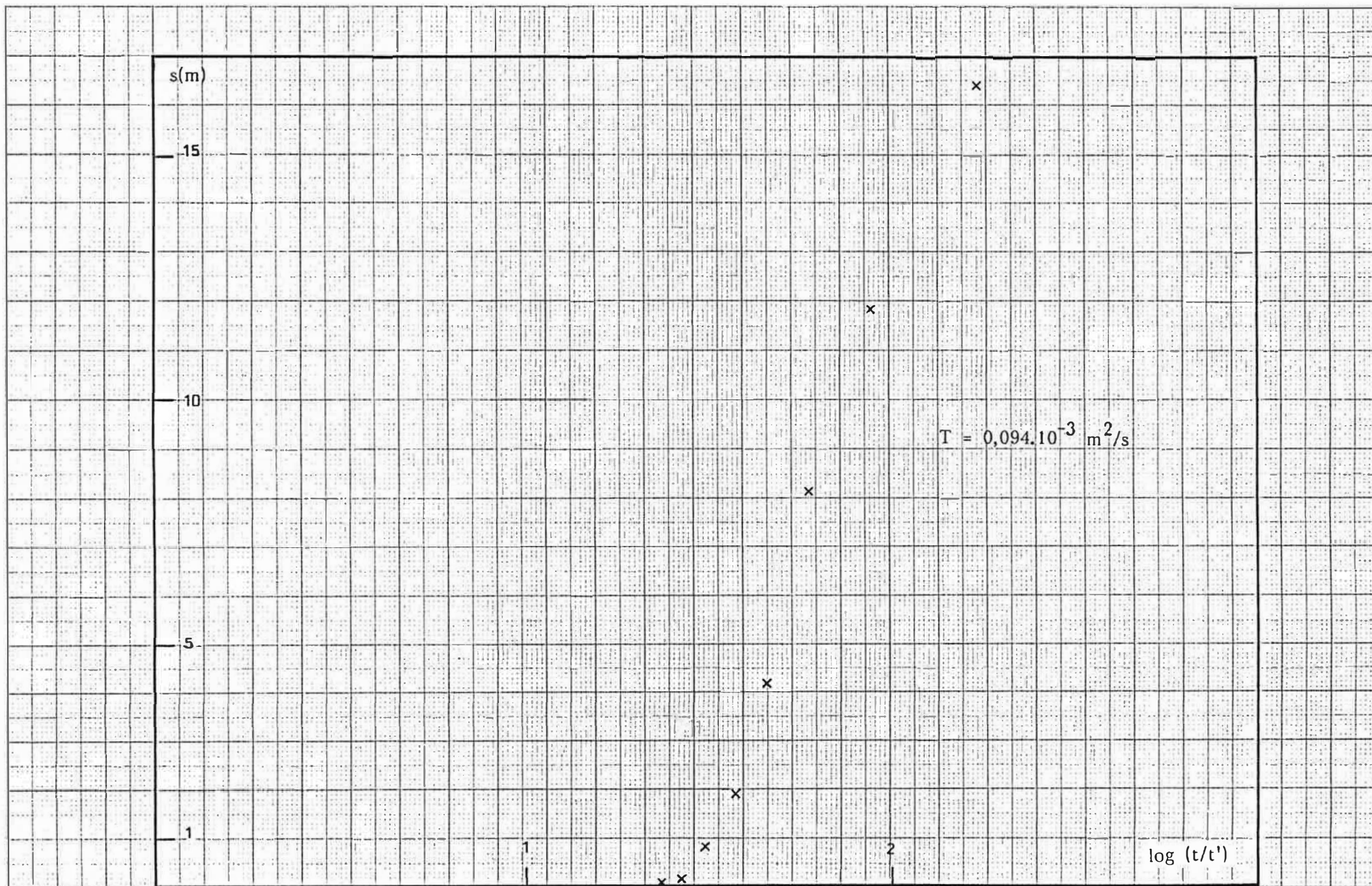


Fig. 47 - KAMINA I - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 46,4 \text{ m}^3/\text{h}$)

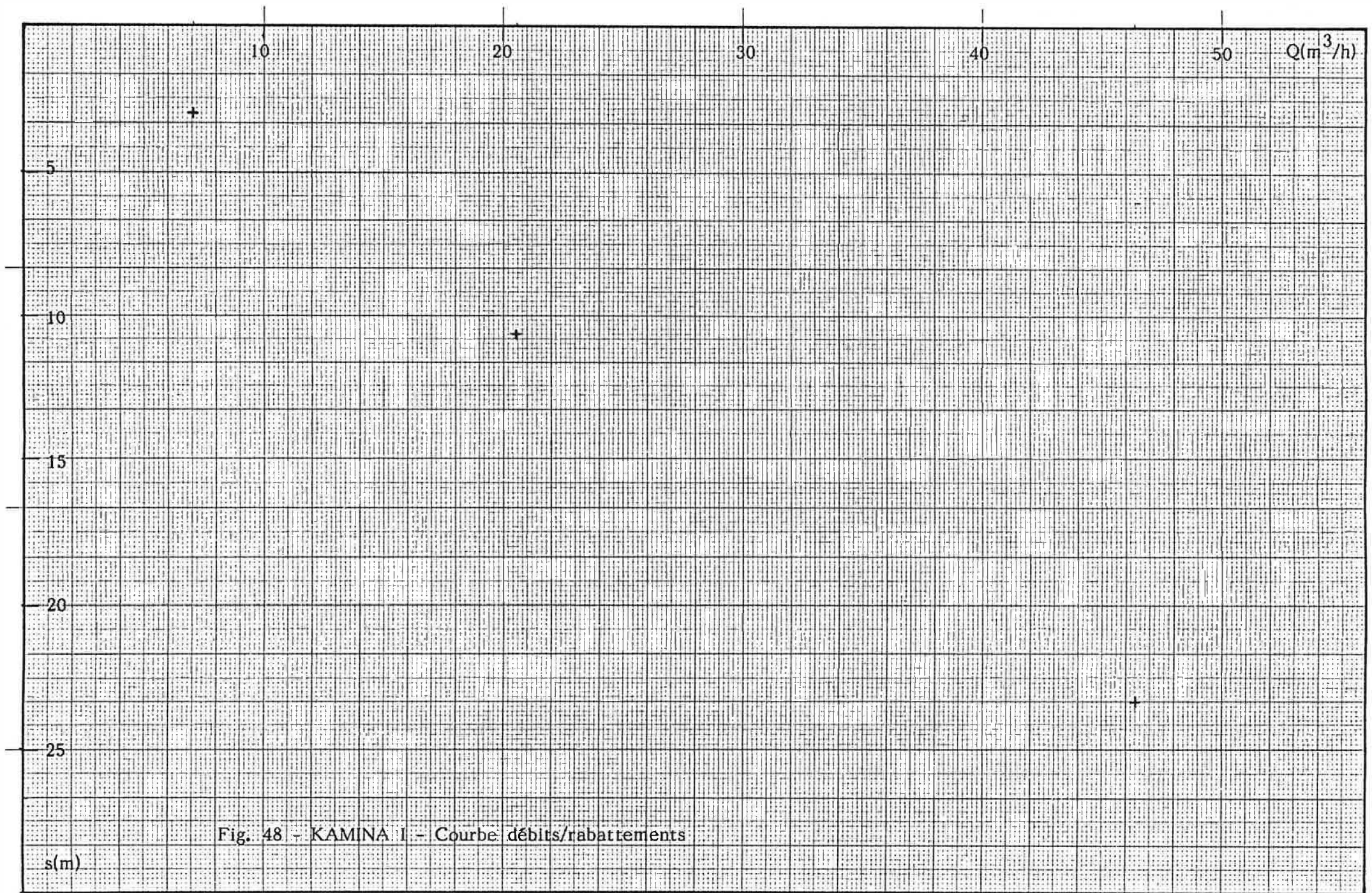


Fig. 48 - KAMINA I - Courbe débits/rabattements

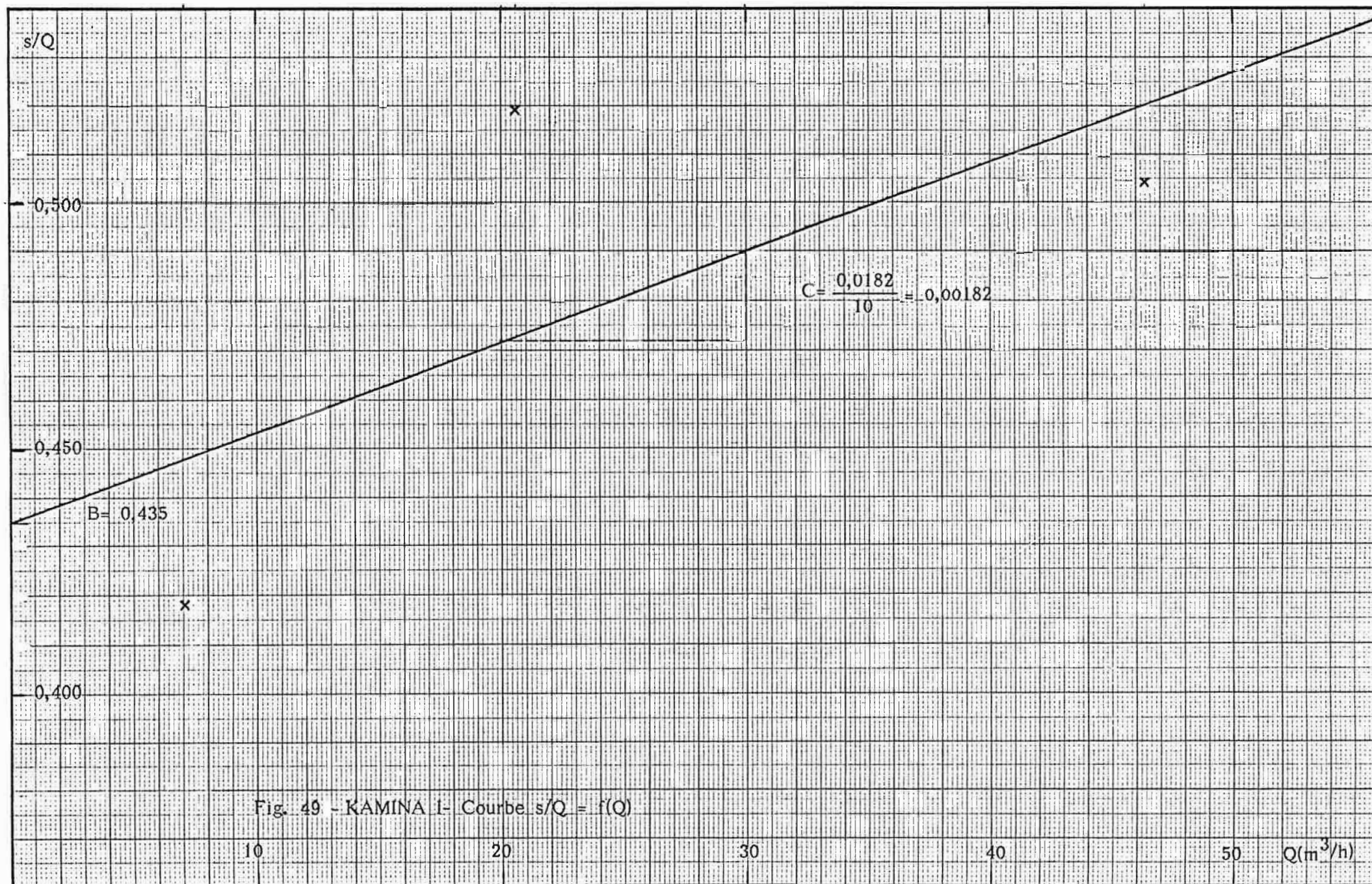


Fig. 49 - KAMINA I- Courbe $s/Q = f(Q)$

3.6.2.4.5. Essai de sable

Après un développement par air-lift pendant 9 heures et un pompage pendant 41 3/4 heures, l'eau était exempte de sable.

3.6.2.4.6. L'analyse physico-chimique de l'eau

A la fin de l'essai de pompage, deux échantillons d'environ 1 litre chaque ont été prélevés (25 juin 1987). Les analyses ont été faites à BRUXELLES.

Les résultats des analyses complètes sont représentés dans le tableau 22.

L'eau est caractérisée par une minéralisation très faible (cf. conductivité et teneurs des différents ions).

La faible valeur du pH (5,0) est due à la teneur élevée (plus de 100 mg/l) en CO₂.

On notera les valeurs relativement importantes des concentrations en Fe et Zn.

La classification selon la méthode de PIPER est représentée dans le tableau 23 et sur la figure 50.

Tableau 22 - KAMINA I - Analyse chimique de l'eau de la nappe infragrèseuse et infragranitiques.

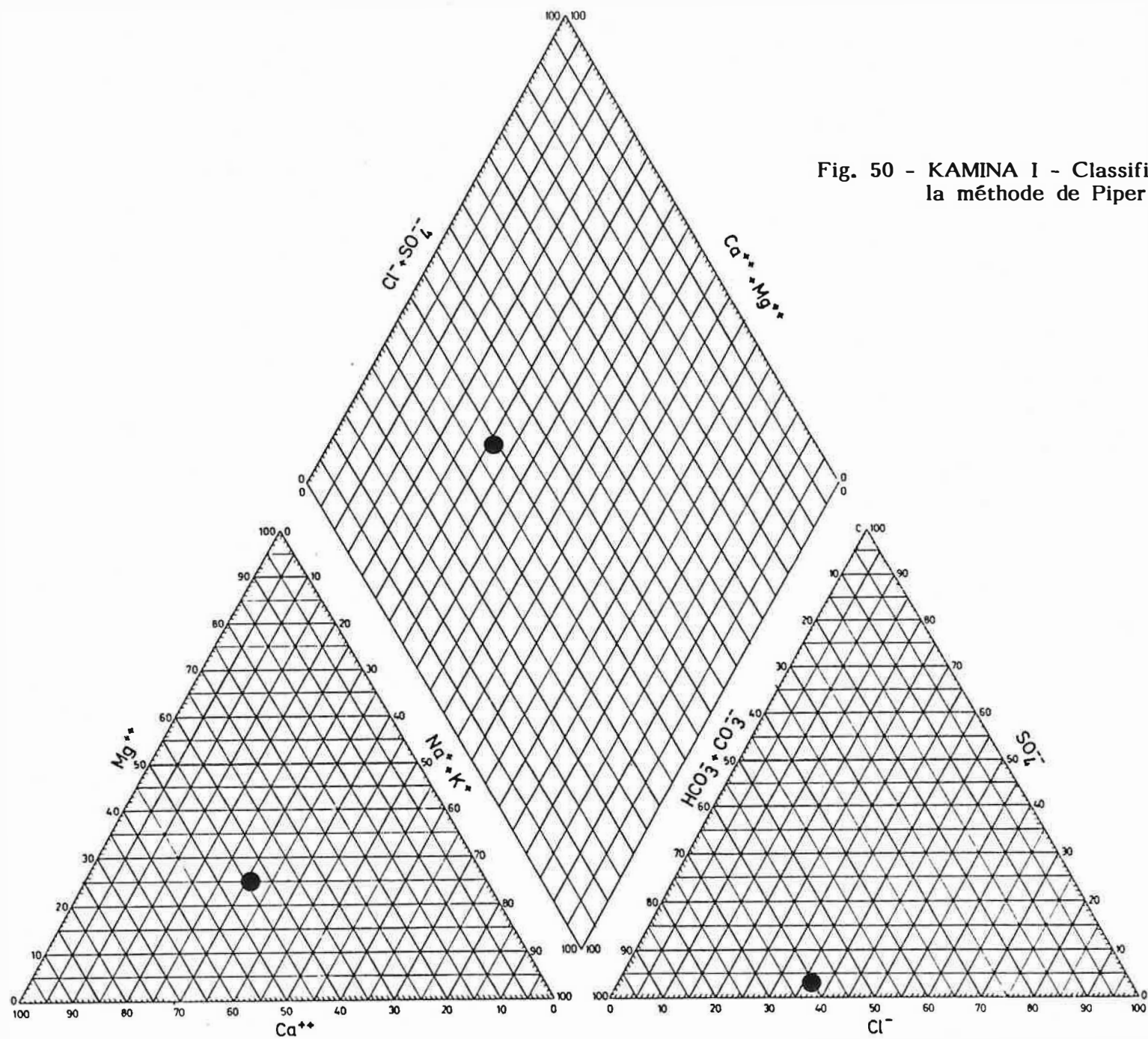
Elément ou ion	Valeur (ppm)
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	25
pH	5,0
Ca	2,9
Mg	2,0
Na	1,0
K	0,6
Fe	0,1391
Mn	0,090
Al	0
Pb	0
Cd	0,0005
Cu	0,0049
Ni	0,0032
As	0
Ba	0,0276
Cr	0,0001
Zn	0,7620
Ag	0,0001
P	0
Se	0
C	0
Sb	0
Li	0
B	0
SiO ₂	10,9
Sr	0,0083
Cl	3,0
SO ₄	0,3
NO ₃	traces
NO ₂	0
HCO ₃	5
CO ₃	0
CO ₂ libre	100

Tableau 23 - KAMINA I - Classification selon la méthode de PIPER

$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	24,6 %	Cl^-	36,2 %
Mg^{2+}	30,8 %	$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	60,2 %
Ca^{2+}	44,6 %	SO_4^{2-}	3,6 %

Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS. Une aération de l'eau ramènera le pH (actuellement = 5) à une valeur acceptable.

Fig. 50 - KAMINA I - Classification selon la méthode de Piper



3.6.3. Forage à KAMINA II

3.6.3.1. Situation géographique

Le forage se situe à environ 6,6 km au NW de la station de pompage existante, près de la route pour MBUYI-MAYI. L'altitude est environ 1 100 m. Le terrain est situé au Nord de la ligne de partage des eaux, où l'écoulement est essentiellement souterrain.

3.6.3.2. Phases d'exécution - déroulement des travaux

02.06.87-08.06.87 : Forage en Ø 16 1/2" de 0,0 à 9,5 m
Tubage provisoire Ø 20" de 0,0 à 9,5 m
Forage en Ø 16 1/2" de 9,5 à 23,6 m
09.06.87-11.06.87 : Forage en Ø 12 1/4" de 23,6 m à 52,6 m
Descente de la colonne de captage Ø 8"
de + 0,5 à 52,6 m; crépines de production de 9,0 à 12,0 m; de 23,0 à 26,0 m et de 28,0 à 52,0 m
12.06.87 : Gravillonnage par gravité
Lavage par soude caustique
13.06.87-15.06.87 : Développement par air-lift; pompage
16.06.87 : Essai de pompage
Essai de sable
Prélèvement d'échantillons d'eau
29.06.87 : Cimentation de l'espace annulaire
Fermeture de la chambre de pompage.

3.6.3.3. Caractéristiques techniques du forage

A. Schéma d'exécution

- . Tube guide provisoire Ø 20",
- . Forage en Ø 16 1/2" au rotary avec circulation de la boue bentonitique et revert dans le terrain sableux

- jusqu'au toit du grès,
 . Forage en Ø 12 1/4" au rotary avec circulation de la boue bentonitique et revert jusqu'à la profondeur finale,
 . Mise en place de la crépine et des tubes aveugles Ø 8".

B. Forage

	Profondeur	Longueur
Forage en Ø 16 1/2"	0,0 à 23,6 m	23,6 m
Forage en Ø 12 1/4"	23,6 à 52,6 m	29,0 m

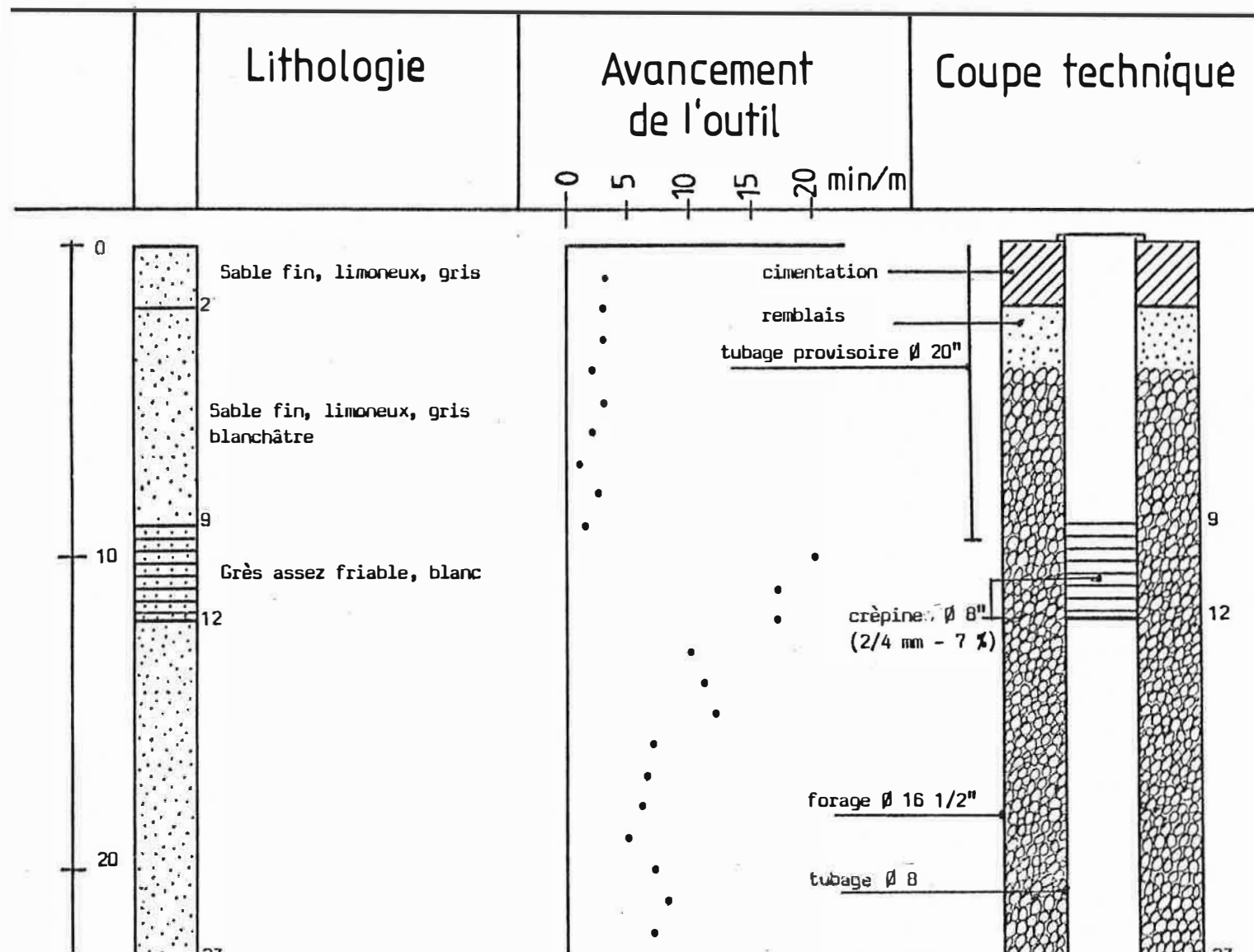
C. Equipement (fig. 51)

Tube guide provisoire Ø 20"	0,0 à 9,5 m	9,5 m
Colonne de captage :		
Tube Ø 8"	+ 0,5 à 9,0 m	9,5 m
Tube crépiné Ø 8"		
(crépine de production)	9,0 à 12,0 m	3,0 m
Tube Ø 8"	12,0 à 23,0 m	11,0 m
Tube crépiné Ø 8"		
(crépine de production)	23,0 à 26,0 m	3,0 m
Tube Ø 8"	26,0 à 28,0 m	2,0 m
Tube crépiné Ø 8"		
(crépine de production)	28,0 à 52,0 m	24,0 m
Tube Ø 8" (décantation)	52,0 à 52,6 m	0,6 m

Quantité

Massif filtrant constitué
 de granite (5-10 mm),
 tamisé et lavé.

3,5 m³



3.6.3.4. Essais exécutés et résultats

3.6.3.4.1. La description des terrains (fig. 51)

Natures des échantillons	Profondeur en m	
	de	à
Sable fin, limoneux, gris	0,0	2,0
Sable fin, limoneux, gris blanchâtre	2,0	9,0
Grès assez friable, blanc	9,0	12,0
Sable très fin, blanc	12,0	23,0
Grès assez friable, blanc rougeâtre	23,0	26,0
Argile rouge, compacte	26,0	28,0
Grès friable rouge	28,0	33,0
Granite, assez friable	33,0	52,6

3.6.3.4.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil

Ce paramètre est repris sur la figure 51. L'enregistrement permet de localiser les bancs de grès et les zones résistantes du granite.

3.6.3.4.3. L'essai de pompage

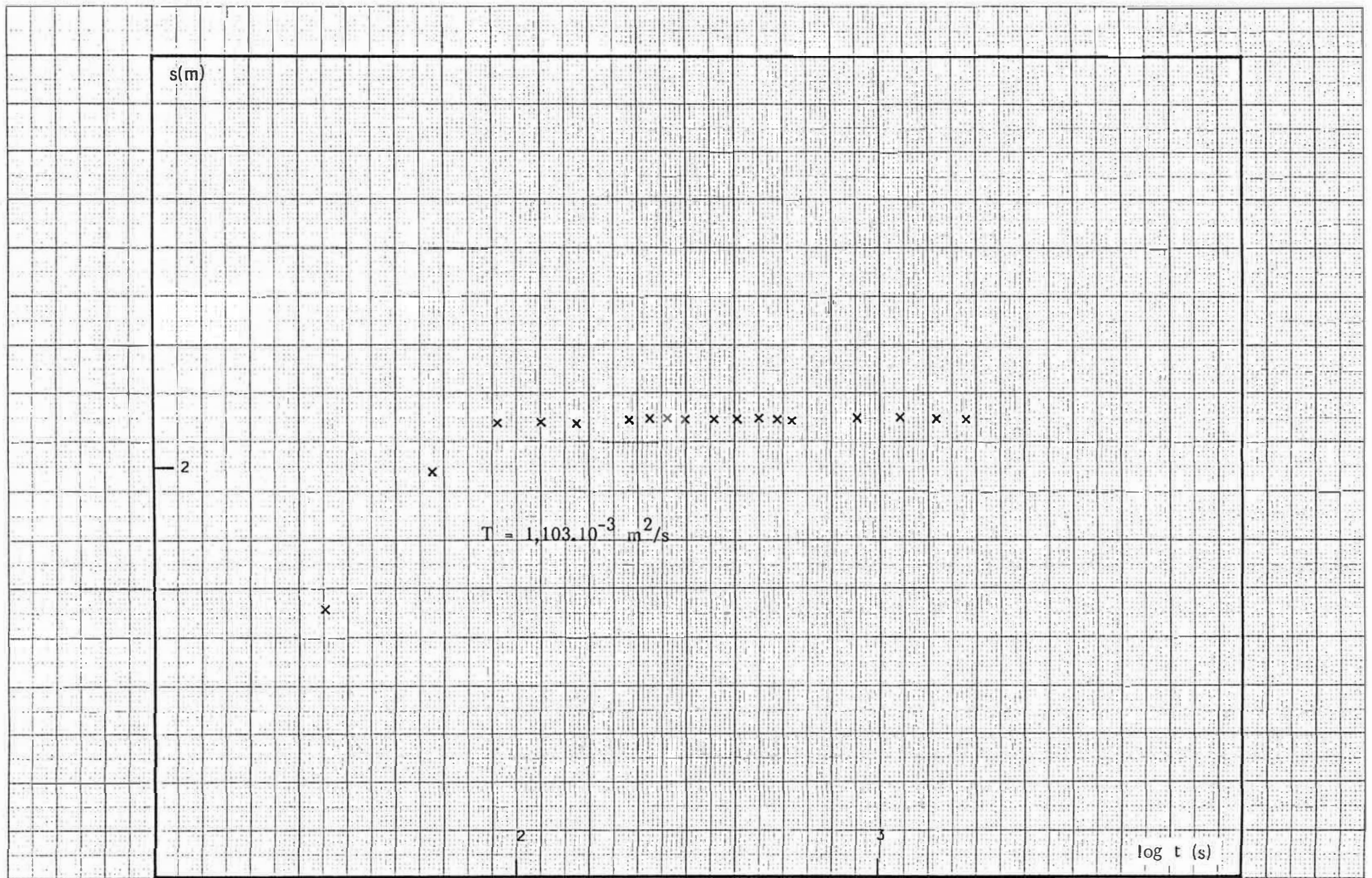
Les nappes captées sont sises dans les grès Kalahariens et le granite; le niveau statique est à 2,03 m sous le niveau du sol (16.06.87).

Trois paliers de pompage ont été réalisés. Les résultats des mesures effectuées sur le terrain sont repris dans le tableau 24 et sur les figures 52 à 57.

Le tableau 25 donne le rabattement (s), le débit spécifique (Q/s) et la valeur s/Q pour le débit Q de chaque palier.

Tableau 24 - Essai de pompage KAMINA II - Résultats des mesures effectuées sur le terrain

Durée de pompage ou de remontée	Essai de pompage du forage KAMINA II								
	Niveau d'eau (en m en-dessous du repère)			Hauteur repère/sol : 0,48 m			Le 16 juin 1987		
	Palier n° 1 (Q = 21,7 m³/h) Q = 6,03 l/s s = 2,12 m			Palier n° 2 (Q = 38,3 m³/h) Q = 10,63 l/s s = 4,34 m			Palier n° 3 (Q = 63,2 m³/h) Q = 17,56 l/s s = 8,33 m		
	descente	remontée	débit(l/s)	descente	remontée	débit(l/s)	descente	remontée	débit(l/s)
0	2,51	4,63		2,52	6,86		2,52	10,85	
30"	4,17	3,17		5,61	3,98		9,38	5,76	
1'	4,50	2,98		6,09	3,02		9,98	2,99	
1'30"	4,62	2,69		6,43	2,87		10,29	2,79	
2'	4,62	2,53		6,60	2,79		10,31	2,77	
2'30"	4,62	2,53		6,68	2,73		10,33	2,76	
3'	4,63	2,53		6,76	2,67		10,34	2,69	
3'30"	4,63	2,53		6,81	2,58		10,35	2,65	
4'	4,63	2,53		6,82	2,53		10,36	2,61	
4'30"	4,63	2,53		6,82	2,53		10,41	2,59	
5'	4,63	2,52	6,03	6,82	2,53	10,61	10,42	2,57	17,58
6'	4,63	2,52		6,83	2,52		10,44	2,57	
7'	4,63	2,52		6,83	2,52		10,46	2,57	
8'	4,63	2,52		6,83	2,52		10,49	2,57	
9'	4,63	2,52		6,84	2,52		10,52	2,57	
10'	4,63	2,52	6,02	6,84	2,52	10,62	10,52	2,56	17,56
15'	4,63	2,52		6,85	2,52		10,76	2,56	
20'	4,63	2,52		6,85	2,52		10,78	2,56	
25'	4,63	2,52		6,85	2,52		10,79	2,56	
30'	4,63	2,52	6,03	6,85	2,52	10,66	10,79	2,55	17,56
35'		2,52		6,85			10,80	2,55	
40'		2,52		6,85			10,81	2,55	
45'		2,52		6,85			10,82	2,55	
50'				6,86			10,82	2,55	
55'				6,86			10,82	2,54	
60'				6,86			10,83	2,54	
75'							10,83		
90'							10,84		
105'							10,85		
120'							10,85		



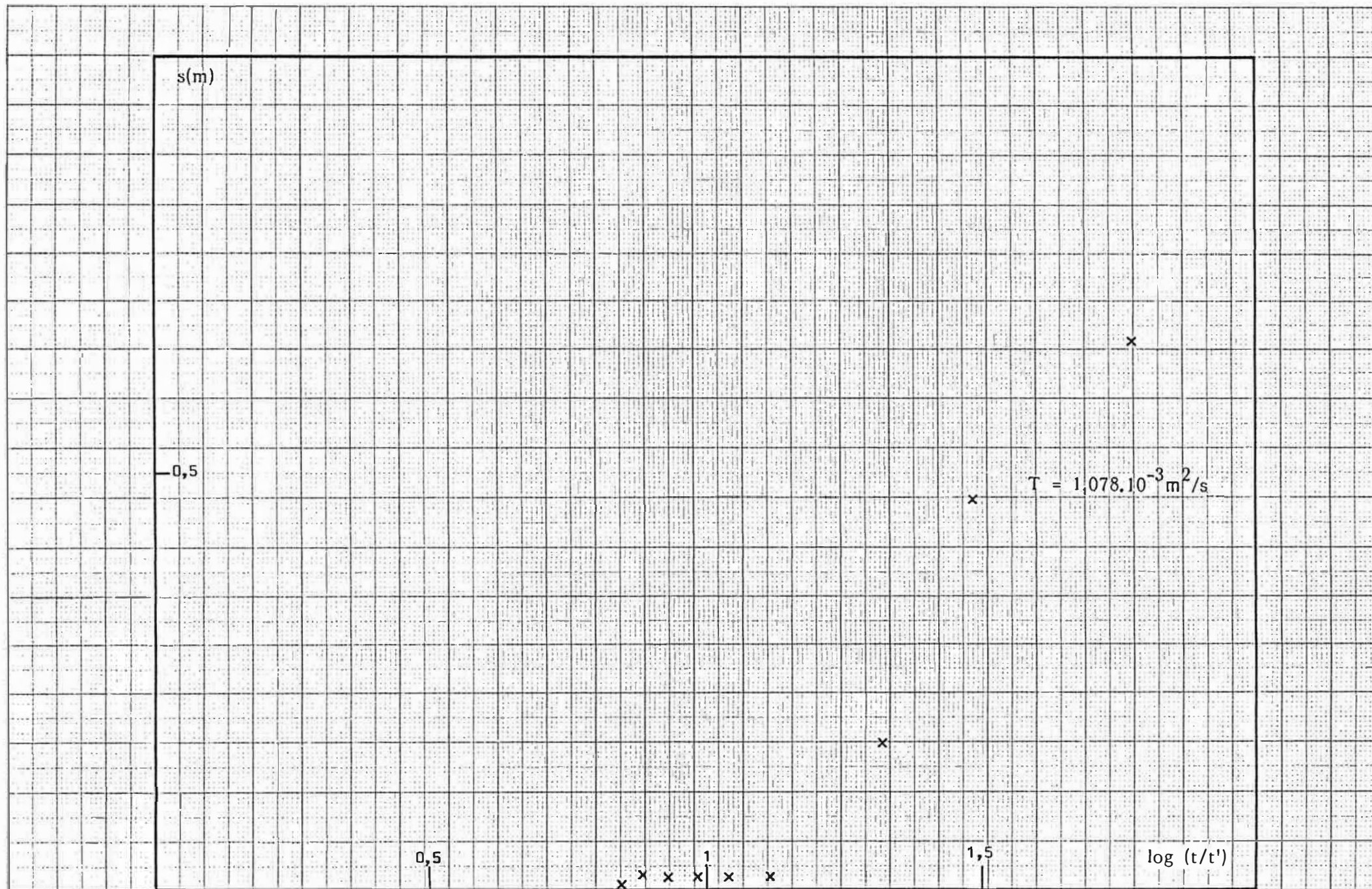


Fig. 53 - KAMINA II - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 21,7 \text{ m}^3/\text{h}$)

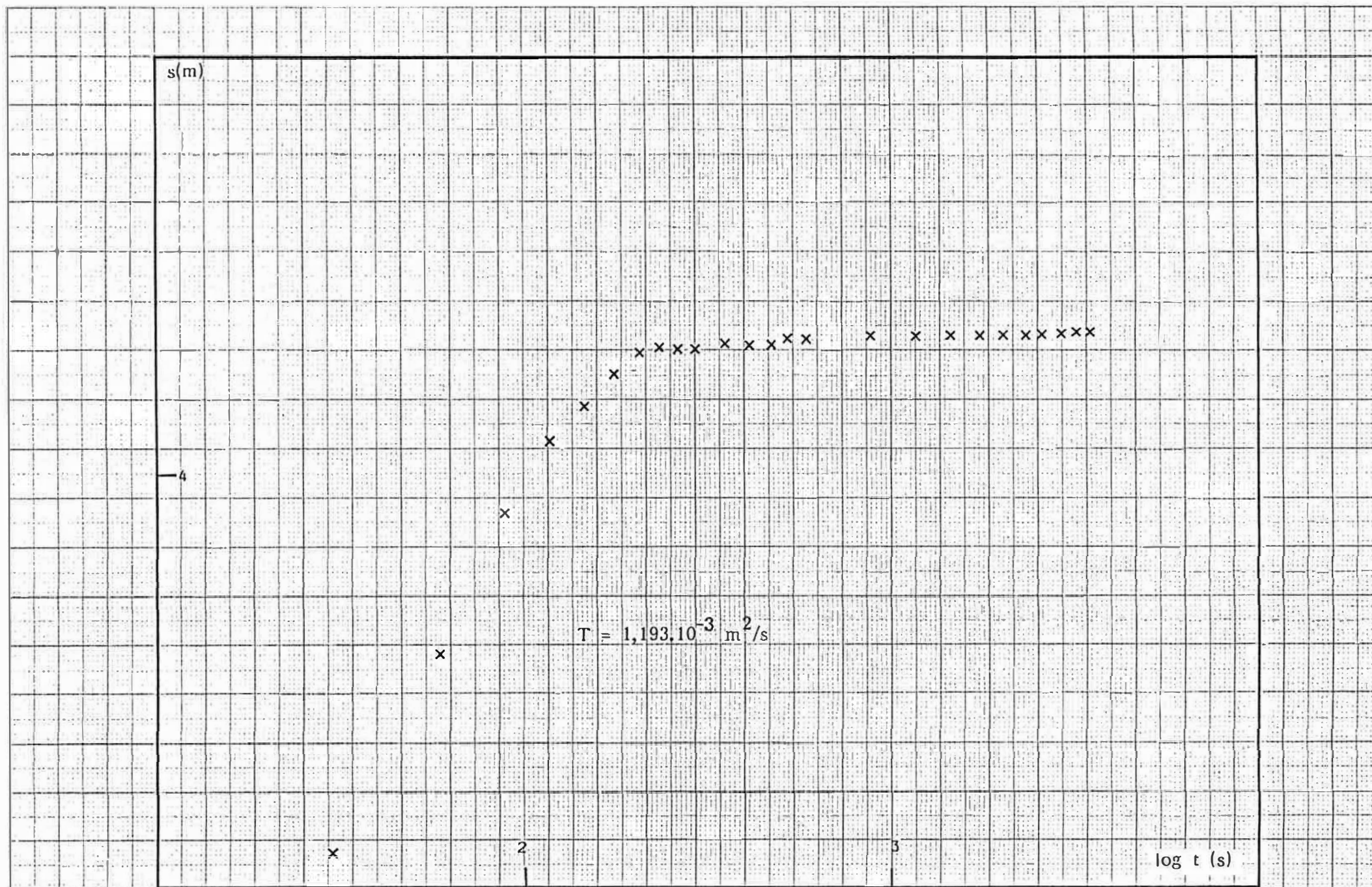
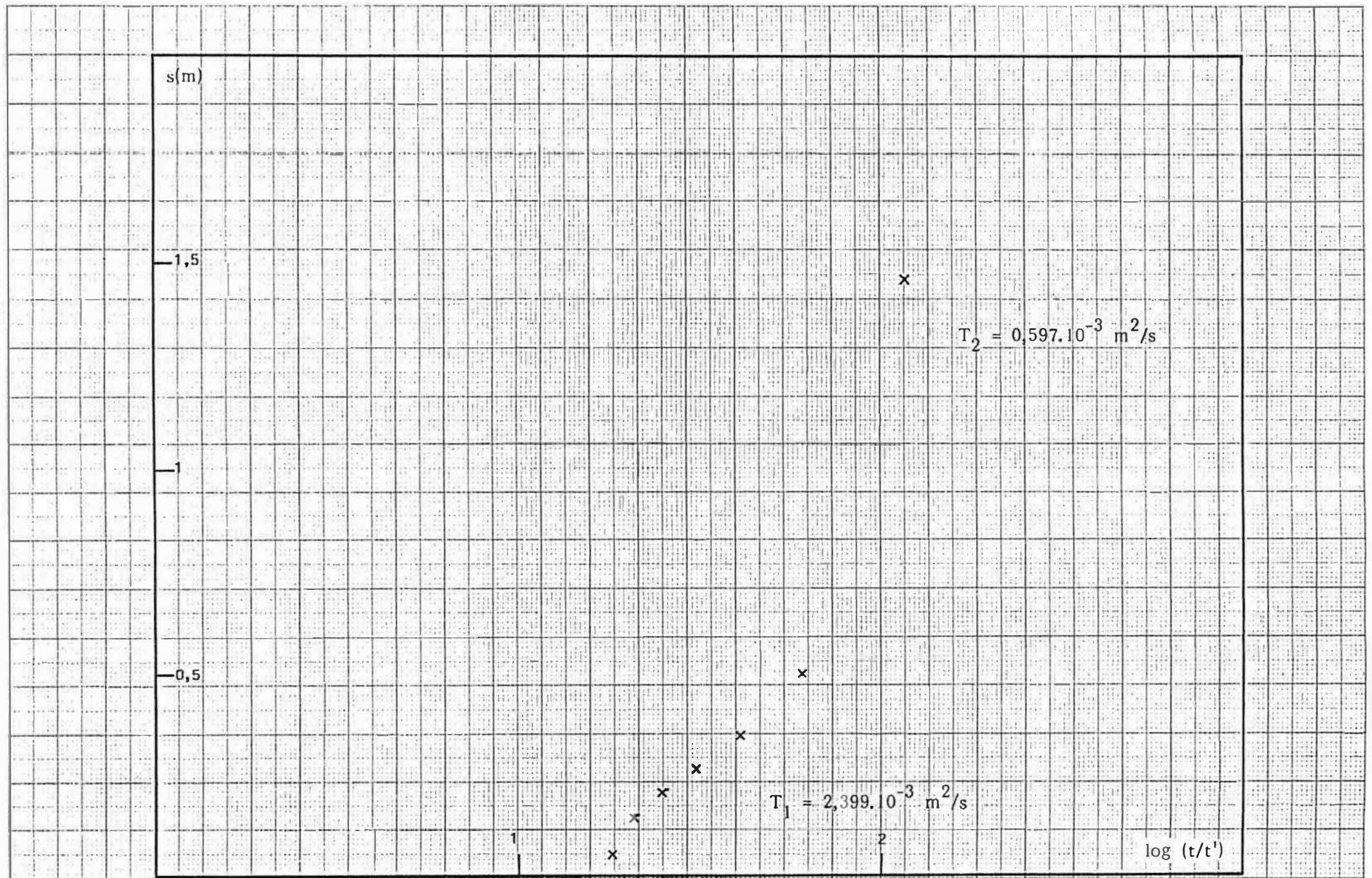


Fig. 54 - KAMINA II - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 38,3 \text{ m}^3/\text{h}$)



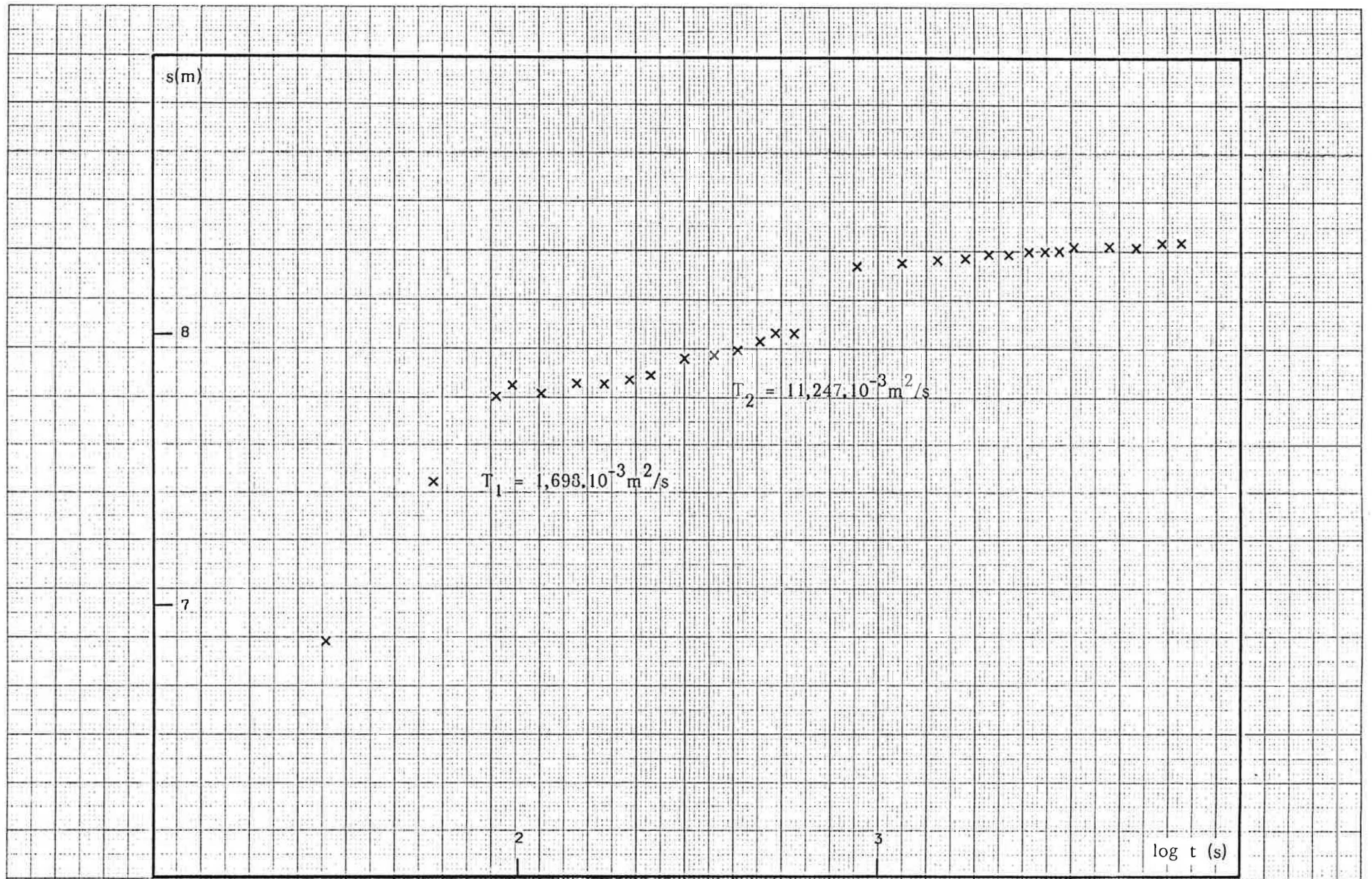


Fig. 56 - KAMINA II - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 63,2 \text{ m}^3/\text{h}$)

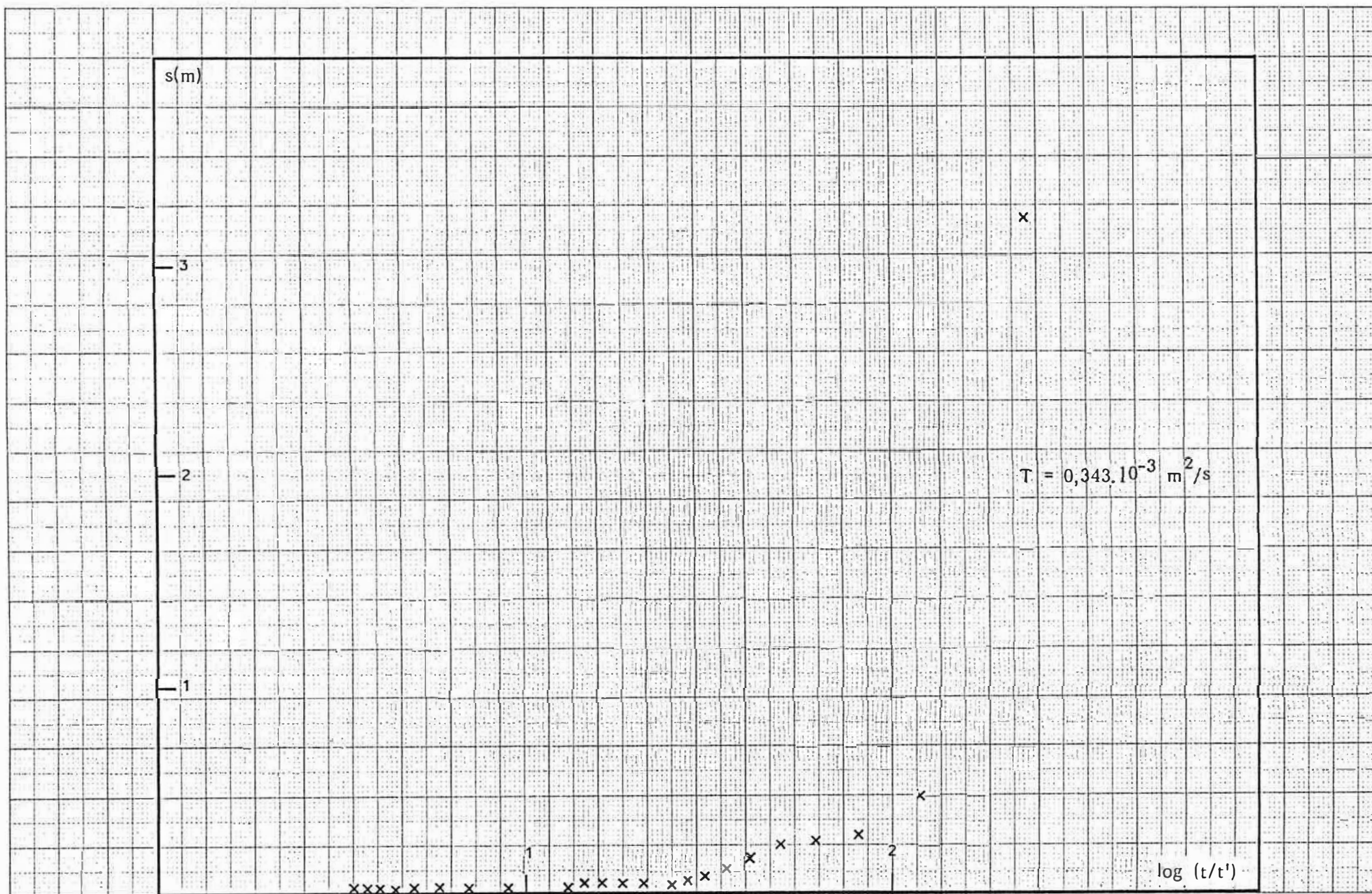


Tableau 25 - KAMINA II - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier

Q (m ³ /h)	21,7	38,3	63,2
s (m)	2,12	4,34	8,33
Q/s	10,24	8,82	7,59
s/Q	0,098	0,113	0,132

La courbe débits/rabattements (dite "courbe caractéristique") est reprise sur la figure 58.

Le débit spécifique pour un débit de 40 m³/h est :

$$Q/s = 8,8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

La méthode de THEIS appliquée sur les valeurs obtenues lors du dernier palier de pompage nous permet d'estimer la transmissivité T (fig. 56 et 57) :

$$T = 0,343.10^{-3} \text{ à } 1,698.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Le rabattement total (s) en fonction du débit est donné par l'expression :

$$s = BQ + CQ^2 \text{ (Q en m}^3/\text{h)}.$$

Pour le forage KAMINA II on a (fig. 59) :

$$s = 0,081 Q + 0,00082 Q^2$$

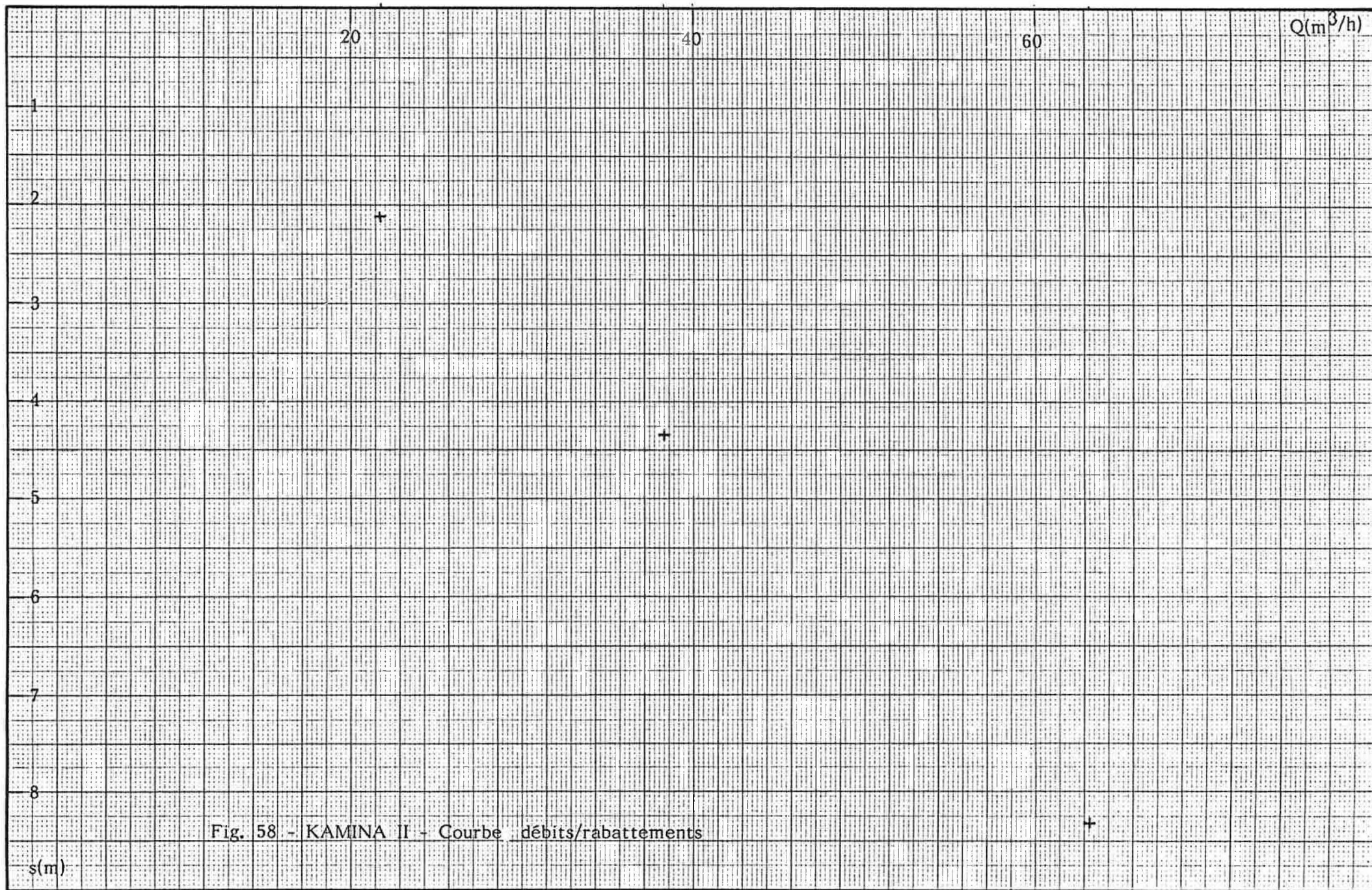
Pour un débit d'exploitation de 40 m³/h, on a :

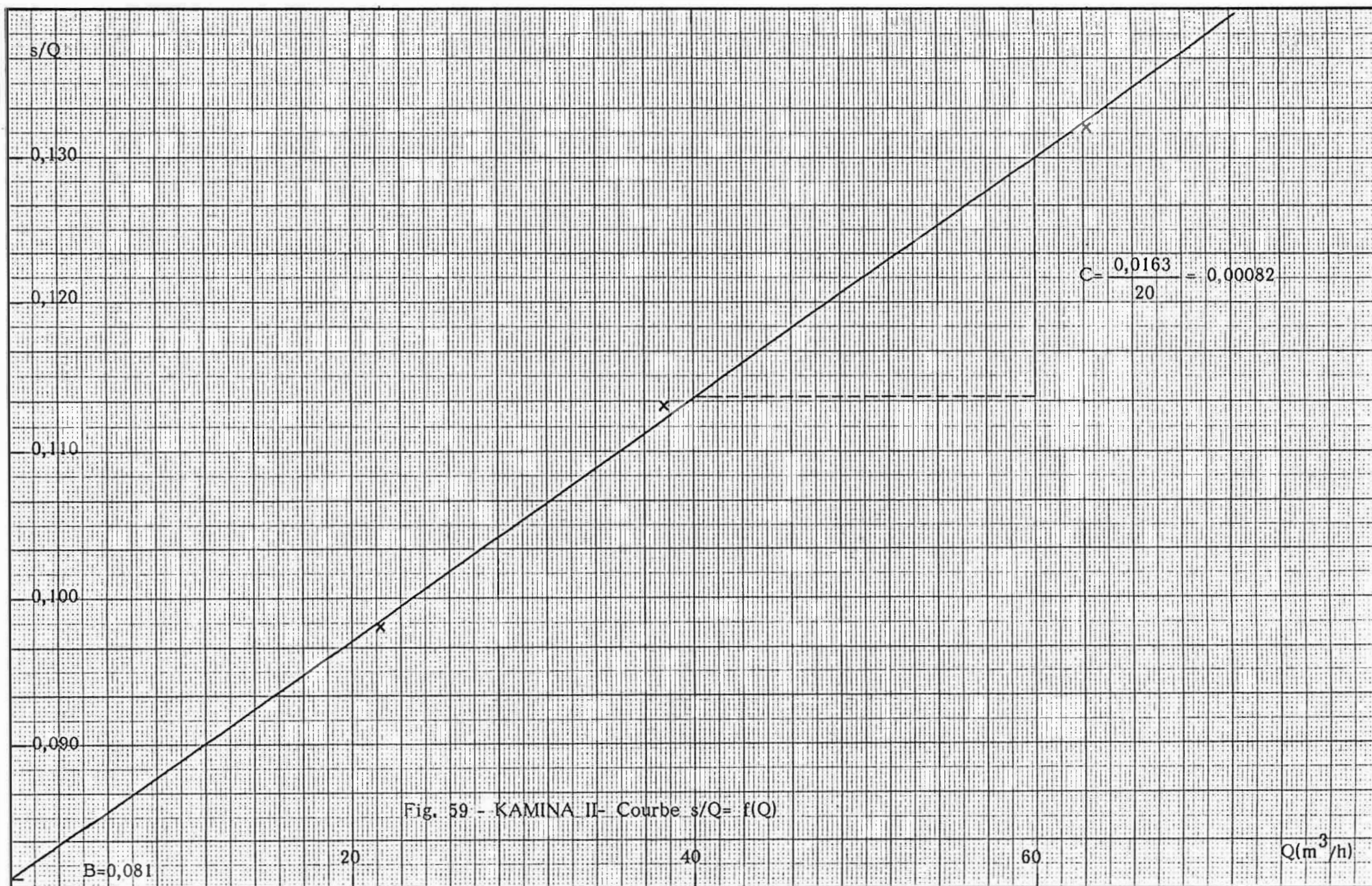
$$s = 3,24 \text{ m} + 1,312 \text{ m} = 4,552 \text{ m}.$$

Le pourcentage des pertes de charge dû à l'écoulement laminaire est $(BQ/s).100 = (3,24/4,552).100 = 71,2 \%$.

3.6.3.4.4. Essai de sable

Après un développement par air-lift pendant 16 heures et un pompage pendant 47 3/4 heures ($Q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$), l'eau était exempte de sable. En augmentant le débit, l'eau devenait moins claire et contenait un peu de sable fin.





3.6.3.4.5. L'analyse physico-chimique de l'eau

A la fin de l'essai de pompage, deux échantillons d'environ 1 litre chaque ont été prélevés (16 juin 1987). Les analyses ont été faites à BRUXELLES. Les résultats des analyses complètes sont représentés dans le tableau 26.

L'eau est caractérisée par une minéralisation très faible (cf. conductivité et teneurs des différents ions).

La faible valeur du pH (5,0) est due à la teneur élevée (plus de 100 mg/l) en CO₂.

On notera les valeurs relatives importantes des concentrations en Fe en Zn.

La classification selon la méthode de PIPER est représentée dans le tableau 27 et sur la figure 60.

Tableau 26 - KAMINA II - Analyse chimique de l'eau de la nappe infragrèseuse et infragranitique.

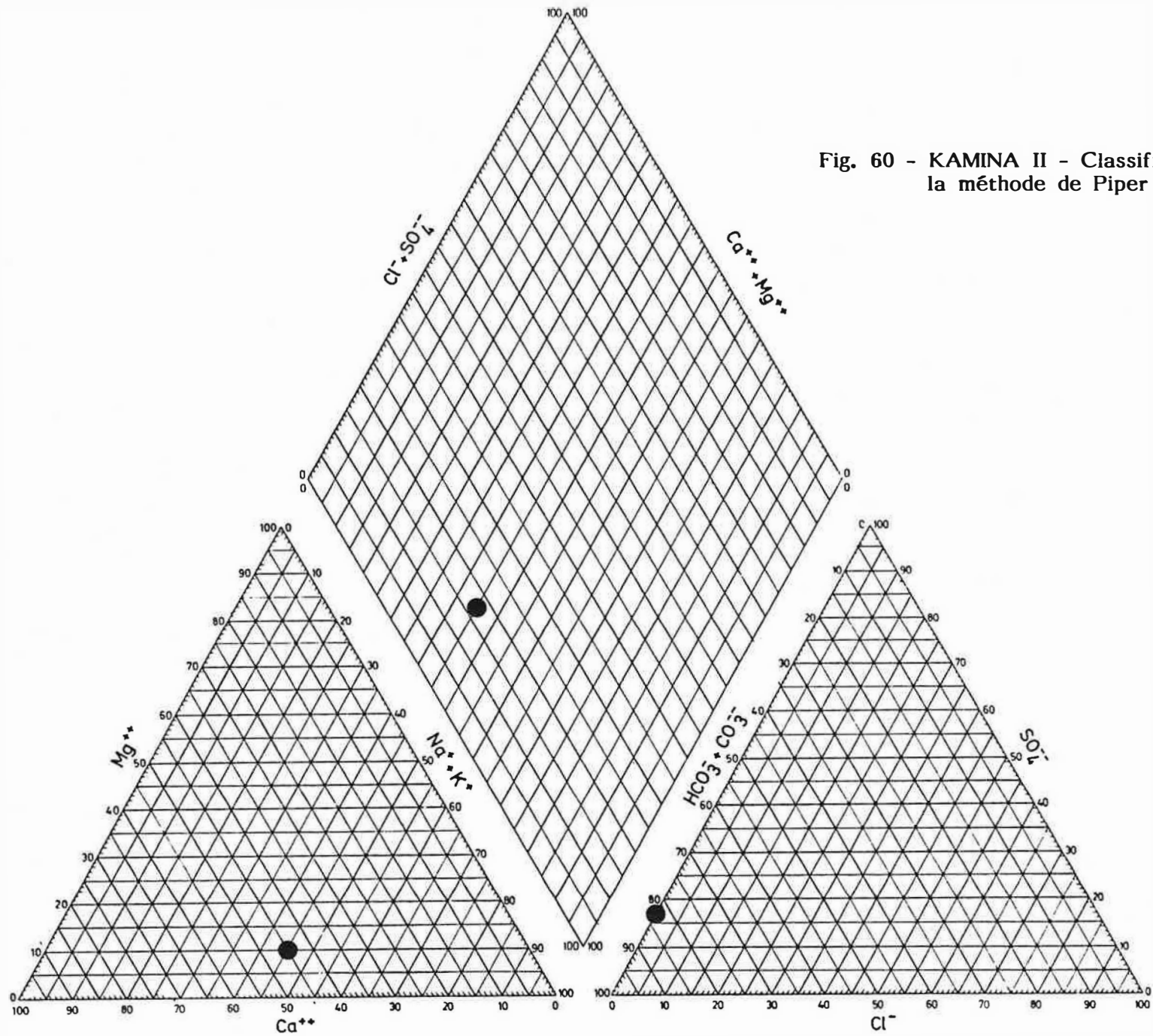
Elément ou ion	Valeur (ppm)
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0
pH	5,0
Ca	0,9
Mg	0,2
Na	0,5
K	0,4
Fe	0,2075
Mn	0,0098
Al	0,0224
Pb	0,005
Cd	0,0003
Cu	0,0036
Ni	0,005
As	0
Ba	0,016
Cr	0
Zn	0,7817
Ag	0,0006
P	0
Se	0
C	0
Sb	0
Li	0
B	0
SiO ₂	9,9
Sr	0,0046
Cl	traces
SO ₄	0,2
NO ₃	traces
NO ₂	0
HCO ₃	1
CO ₃	0
CO ₂ libre	100

Tableau 27 : KAMINA II - Classification selon la méthode de PIPER

Na ⁺ + K ⁺	45,0 %	Cl ⁻	0,0 %
Mg ²⁺	10,0 %	HCO ₃ ⁻ + CO ₃ ²⁻	83,3 %
Ca ²⁺	45,0 %	SO ₄ ²⁻	16,7 %

Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS. Une aération de l'eau ramènera le pH (actuellement = 5) à une valeur acceptable.

Fig. 60 - KAMINA II - Classification selon la méthode de Piper



3.6.4. Forage à KAMINA III

3.6.4.1. Situation géographique

Le forage se situe environ 1,0 km au nord de la station de pompage. L'altitude est environ 1 100 m. Le terrain est situé au Nord de la ligne de partage des eaux, où l'écoulement est essentiellement souterrain.

3.6.4.2. Phases d'exécution - déroulement des travaux

- 26.06.87 : Forage en Ø 16 1/2" de 0,0 à 22,0 m
Tubage Ø 14" de 0,0 à 21,5 m
- 27.06.87-28.06.87 : Forage en Ø 12 1/4" de 22,0 à 64,0 m
Tubage Ø 8" de 0,0 à 64,0 m
Crépines de production de 22,0 à 28,0 et de 46,0 à 58,0 m
- 29.06.87-02.07.87 : Gravillonnage par gravité
Développement par air-lift; pompage
- 03.07.87 : Essai de pompage
Essai de sable
Prélèvement d'échantillons d'eau
- 04.07.87 : Cimentation de l'espace annulaire
Fermeture de la chambre de pompage.

3.6.4.3. Caractéristiques techniques du forage

A. Schéma d'exécution

- . Forage en Ø 16 1/2" au rotary avec circulation de la boue revert dans le terrain sableux jusqu'au toit du grès,
- . Mise en place d'un tubage acier Ø 14",
- . Forage en Ø 12 1/4" au rotary avec circulation de la boue revert jusqu'à la profondeur finale,
- . Mise en place de la crépine et des tubes aveugles Ø 8".

B. Forage

	Profondeur	Longueur
Forage en Ø 16 1/2"	0,0 à 22,0 m	22,0 m
Forage en Ø 12 1/4"	22,0 à 64,0 m	42,0 m

C. Equipement (fig. 61)

Tubage Ø 14"	0,0 à 21,5 m	21,5 m
Colonne de captage :		
Tube Ø 8"	+ 0,5 à 22,0 m	22,5 m
Tube crépiné Ø 8"		
(crépine de production)	22,0 à 28,0 m	6,0 m
Tube Ø 8"	28,0 à 46,0 m	18,0 m
Tube crépiné Ø 8"		
(crépine de production)	46,0 à 58,0 m	12,0 m
Tube Ø 8" (décantation)	58,0 à 64,0 m	6,0 m

Quantité

Massif filtrant constitué
de gravier de granite (5-10 mm),
tamisé et lavé.

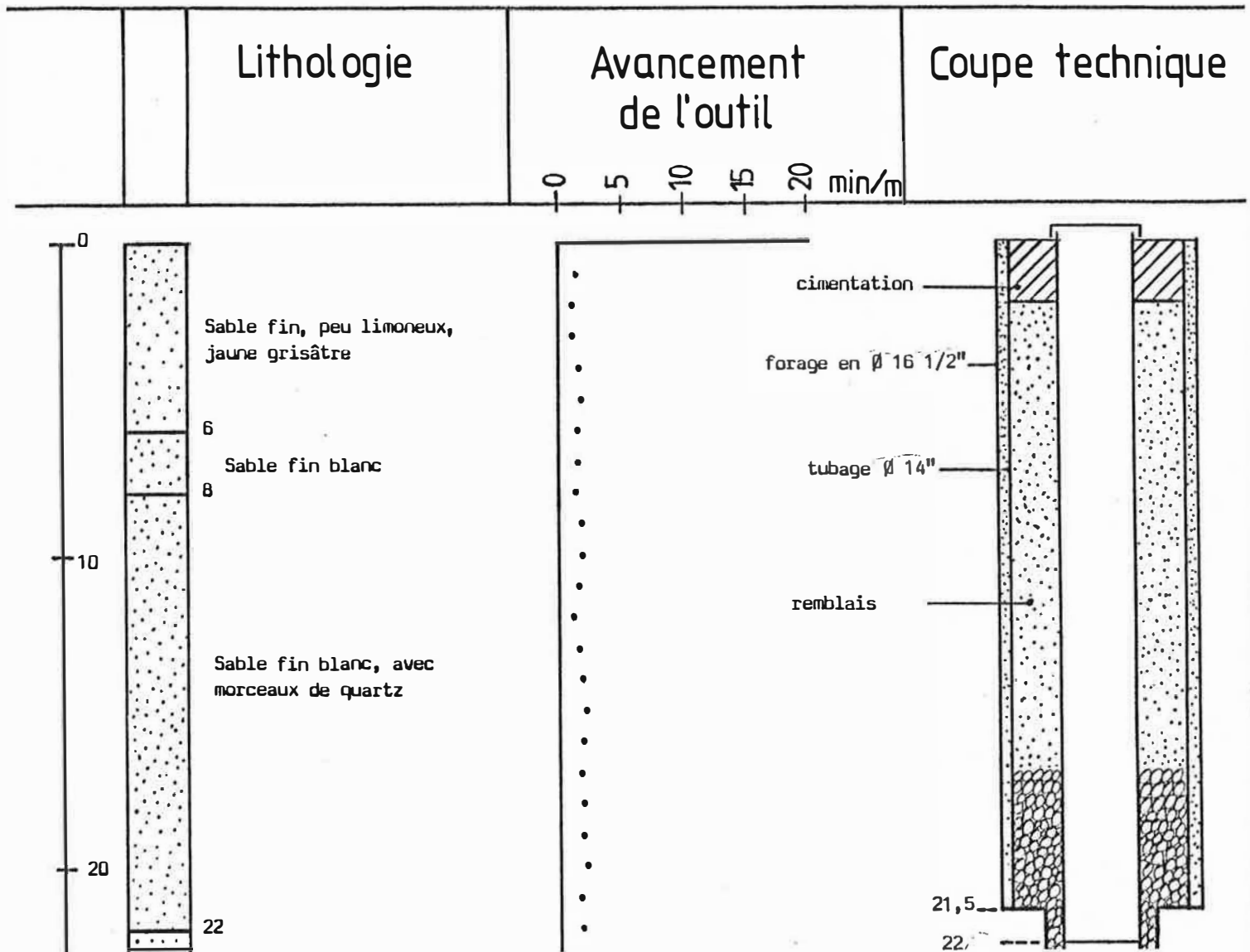
2 m³

3.6.4.4. Essais exécutés et résultats

3.6.4.4.1. La description des terrains (fig. 61)

Nature des échantillons	Profondeur en m	
	de	à
Sable fin, peu limoneux, jaune grisâtre	0,0	6,0
Sable fin blanc	6,0	8,0
Sable fin blanc, avec morceaux de quartz	8,0	22,0
Grès blanc, dur	22,0	29,0
Grès jaune blanchâtre, argileux	29,0	35,0
Grès rouge jaunâtre, très argileux	35,0	37,0
Argile rouge	37,0	43,0

Fig. 61 - Lithologie, vitesse d'avancement de l'outil et coupe technique du forage KAMINA III.



Argile rouge avec débris granitiques	43,0	51,0
Granite peu altéré	51,0	58,0
Granite foncé, très dur	58,0	64,0

3.6.4.4.2. L'enregistrement de la vitesse d'avancement de l'outil.

Ce paramètre est repris sur la figure 61. L'enregistrement permet de localiser les horizons de grès et les horizons durs dans le granite.

3.6.4.4.3. L'analyse granulométrique

Un échantillon des cuttings (A) venant d'une profondeur entre 24,0 et 25,0 m a été analysé au Laboratoire de Géologie Appliquée et Hydrogéologie de l'Université de GAND.

Cet échantillon pesait 215,46 g dont le poids de la fraction plus de 2 mm était 0,01 g, soit < 0,01 %. De la fraction moins de 2 mm on a un échantillon de 20,00 g a été analysé (voir tableau 28 et figure 62).

Tableau 28 - Résultats de l'analyse granulométrique KAMINA
III échantillon A (fraction < 2 mm) (analyse au
laboratoire).

Ouvertures tamis (en μm)	poids (g) (sable)	%	% cumulé
1700,00	0,00	0,00	0,00
1400,00	0,00	0,00	0,00
1180,00	0,00	0,00	0,00
1000,00	0,00	0,00	0,00
850,00	0,00	0,00	0,00
710,00	0,00	0,00	0,00
600,00	0,01	0,05	0,05
500,00	0,02	0,10	0,15
420,00	0,04	0,20	0,35
355,00	0,11	0,55	0,90
297,00	0,16	0,80	1,70
250,00	0,49	2,45	4,15
210,00	0,58	2,90	7,05
180,00	0,79	3,95	11,00
149,00	1,04	5,20	16,20
125,00	1,69	8,45	24,65
105,00	2,51	12,55	37,20
90,00	0,76	3,80	41,00
74,00	1,00	5,00	46,00
63,00	0,33	1,65	47,65
53,00	0,46	2,30	49,95
		% de poids (argile-silt)	
50,00		100,00	49,95
44,00		99,00	50,45
37,00		98,00	50,95
31,00		97,00	51,45
26,00		96,00	51,95
22,00		94,00	52,95
19,00		92,00	53,95
16,00		91,00	54,45
13,00		89,50	55,21
11,00		88,00	55,96
9,30		87,50	56,21
7,80		87,50	56,21
6,60		87,50	56,21
5,50		87,50	56,21
4,60		87,50	56,21
3,90		87,50	56,21
3,30		87,50	56,21
2,80		87,50	56,21
2,32		87,50	56,21
2,00		87,00	56,46
1,64		86,50	56,71
1,38		86,00	56,96
1,16		85,50	57,21
0,98		85,00	57,46

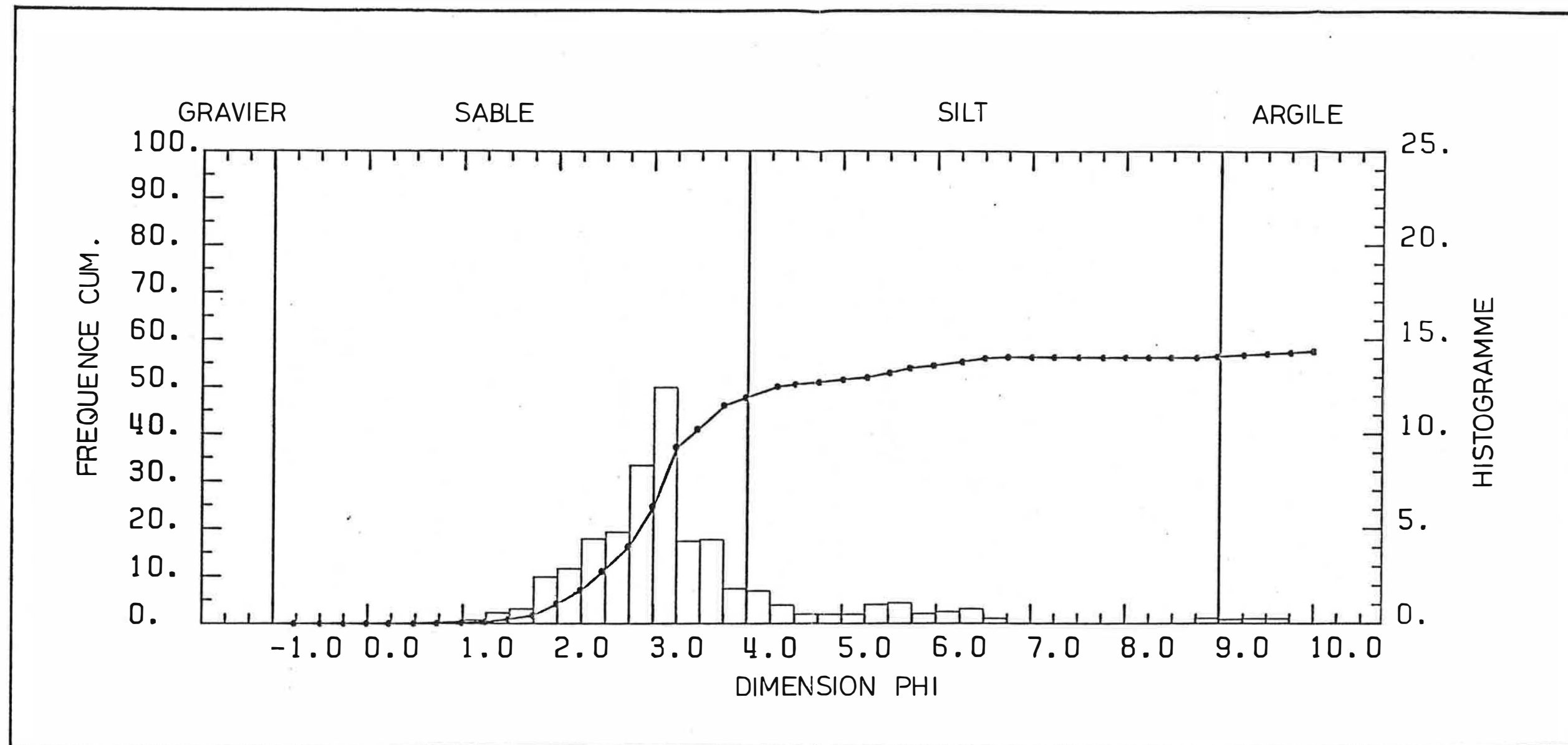


Fig. 62 - Courbe granulométrique de l' échantillon A (KAMINA III)

3.6.4.4.4. Essai de pompage

Les nappes captées sont sises dans les grès Kalahariens et le granite fracturé, le niveau statique est à 1,57 m sous le niveau du sol (03.07.87).

Trois paliers de pompage ont été réalisés. Les résultats des mesures effectuées sur le terrain sont repris dans le tableau 29 et sur les figures 63 à 68.

Le tableau 30 donne le rabattement (s), le débit spécifique (Q/s) et la valeur s/Q pour le débit Q de chaque palier.

Tableau 30 - KAMINA III - Débit, rabattement, débit spécifique et valeur s/Q pour chaque palier

Q (m³/h)	6,8	18,9	36,4
s (m)	2,07	9,77	18,12
Q/s	3,29	1,93	2,01
s/Q	0,304	0,516	0,498

La courbe débits/rabattements (dite "courbe caractéristique") est reprise sur la figure 69.

Le débit spécifique pour un débit de 40 m³/h est :

$$Q/s = 1,80 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}.$$

La méthode de THEIS appliquée sur les valeurs obtenues lors du dernier palier de pompage nous permet d'estimer la transmissivité T (fig. 67 et 68) :

$$T = 0,059.10^{-3} \text{ à } 0,111.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

Le rabattement total s en fonction du débit est donné par l'expression :

$$s = BQ + CQ^2 \text{ (Q en m}^3/\text{h)}.$$

Pour le forage KAMINA III on a (fig. 70) :

$$s = 0,315 Q + 0,00601 Q^2$$

Pour un débit d'exploitation de 40 m³/h, on a :

$$s = 12,6 \text{ m} + 9,616 \text{ m} = 22,216 \text{ m}.$$

Tableau 29 - Essai de pompage KAMINA III - Résultats des mesures effectuées sur le terrain

Durée de pom- page ou de re- montée	Essai de pompage du forage KAMINA III								
	Niveau d'eau (en m en-dessous du repère)			Hauteur repère/sol : 0,75 m			Le 3 juillet 1987		
	Palier n° 1 (Q = 6,81 m³/h) Q = 1,89 l/s s = 2,07 m			Palier n° 2 (Q = 18,93 m³/h) Q = 5,26 l/s s = 9,77 m			Palier n° 3 (Q = 36,44 m³/h) Q = 10,12 l/s s = 18,12 m		
	descente	remontée	débit(l/s)	descente	remontée	débit (l/s)	descente	remontée	débit (l/s)
0	2,32	4,39		2,32	12,09		2,32	20,44	
30"	3,48	3,27		6,77	10,01		10,72	13,81	
1'	4,17	2,98		9,34	7,63		16,06	8,61	
1'30"	4,29	2,51		10,79	5,06		19,18	5,94	
2'	4,34	2,45		11,71	3,38		19,79	3,98	
2'30"	4,37	2,39		12,00	2,98		20,16	3,12	
3'	4,38	2,37		12,05	2,63		20,21	2,91	
3'30"	4,38	2,34		12,07	2,49		20,29	2,62	
4'	4,39	2,33		12,09	2,41		20,36	2,41	
4'30"	4,39	2,32		12,08	2,36		20,39	2,38	
5'	4,39	2,33	1,93	12,09	2,34	5,18	20,41	2,36	10,16
6'	4,38	2,33		12,09	2,32		20,42	2,33	
7'	4,38	2,34		12,09	2,32		20,43	2,33	
8'	4,39	2,33		12,09	2,32		20,43	2,33	
9'	4,39	2,33		12,09	2,32		20,43	2,32	
10'	4,39	2,32	1,89	12,08	2,32	5,29	20,44	2,32	10,13
15'	4,39	2,32		12,07	2,32		20,44	2,32	
20'	4,39			12,09	2,32		20,44	2,32	
25'	4,39			12,08			20,44	2,32	
30'	4,39		1,85	12,08		5,31	20,43	2,32	10,07
35'				12,09			20,43	2,32	
40'				12,09			20,44	2,32	
45'				12,09			20,44	2,32	
50'							20,44		
55'							20,44		
60'							20,44		
75'									

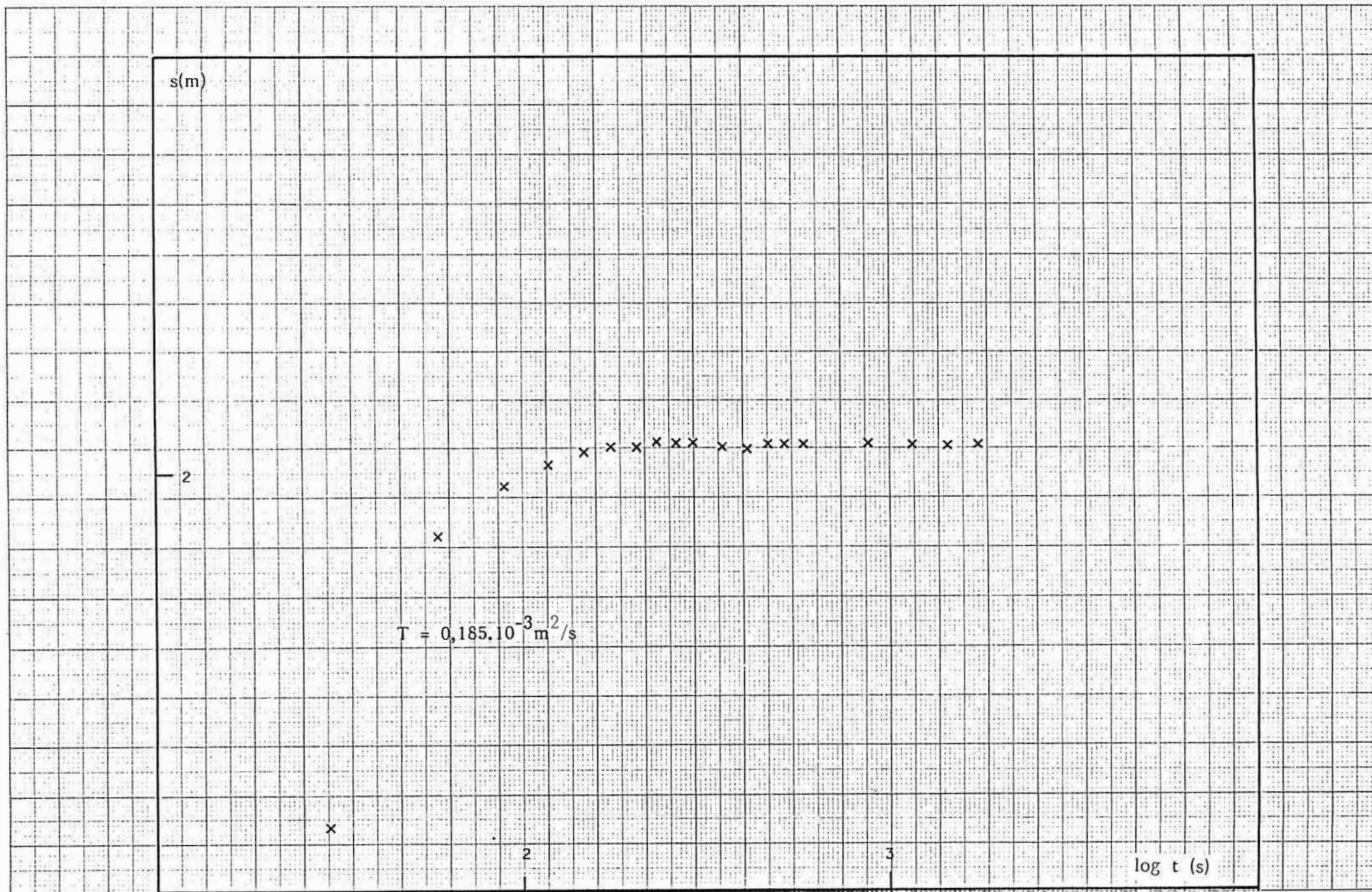


Fig. 63 - KAMINA III - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 6,81 \text{ m}^3/\text{h}$)

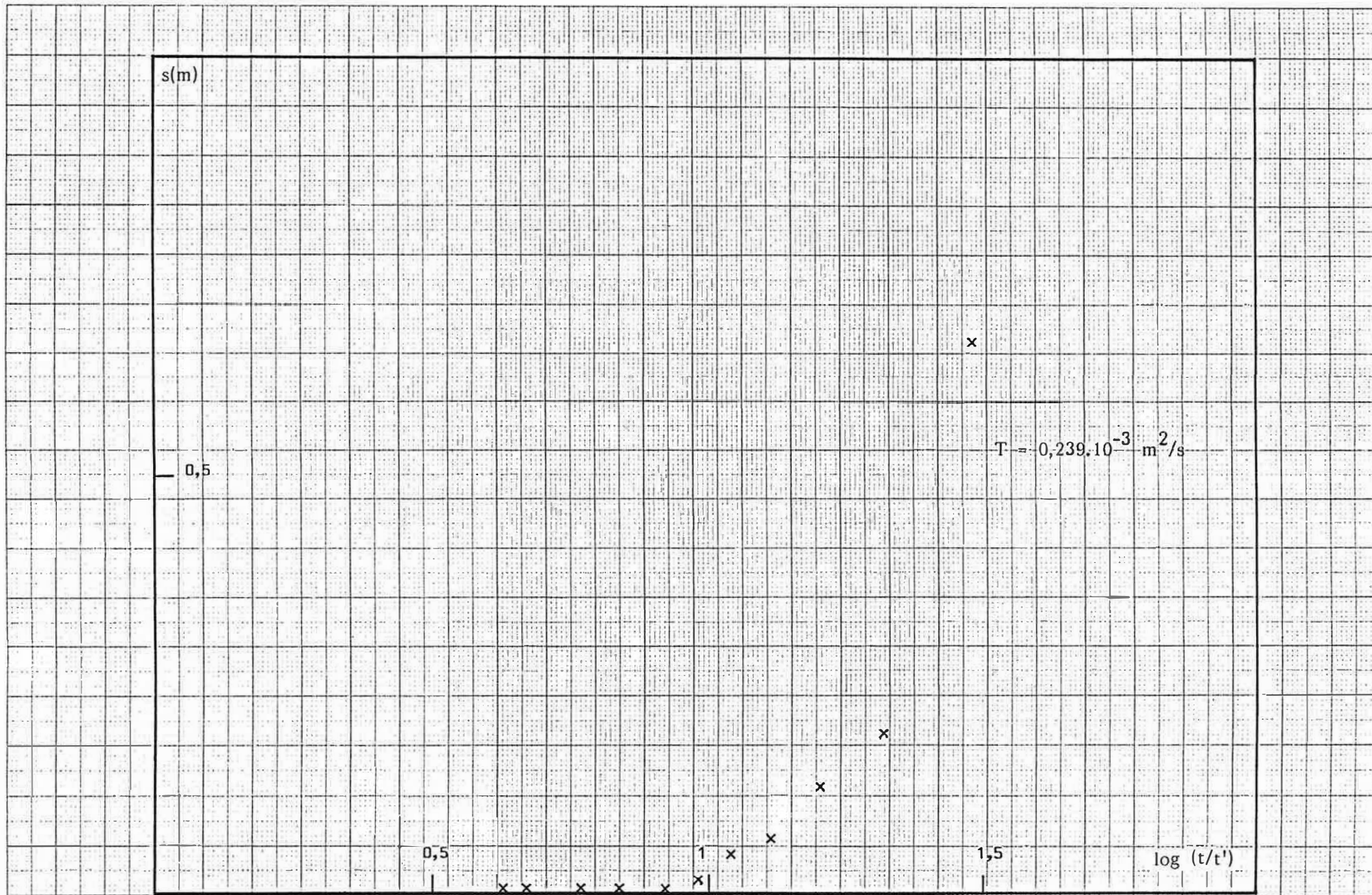


Fig. 64 - KAMINA III - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 6,81 \text{ m}^3/\text{h}$)

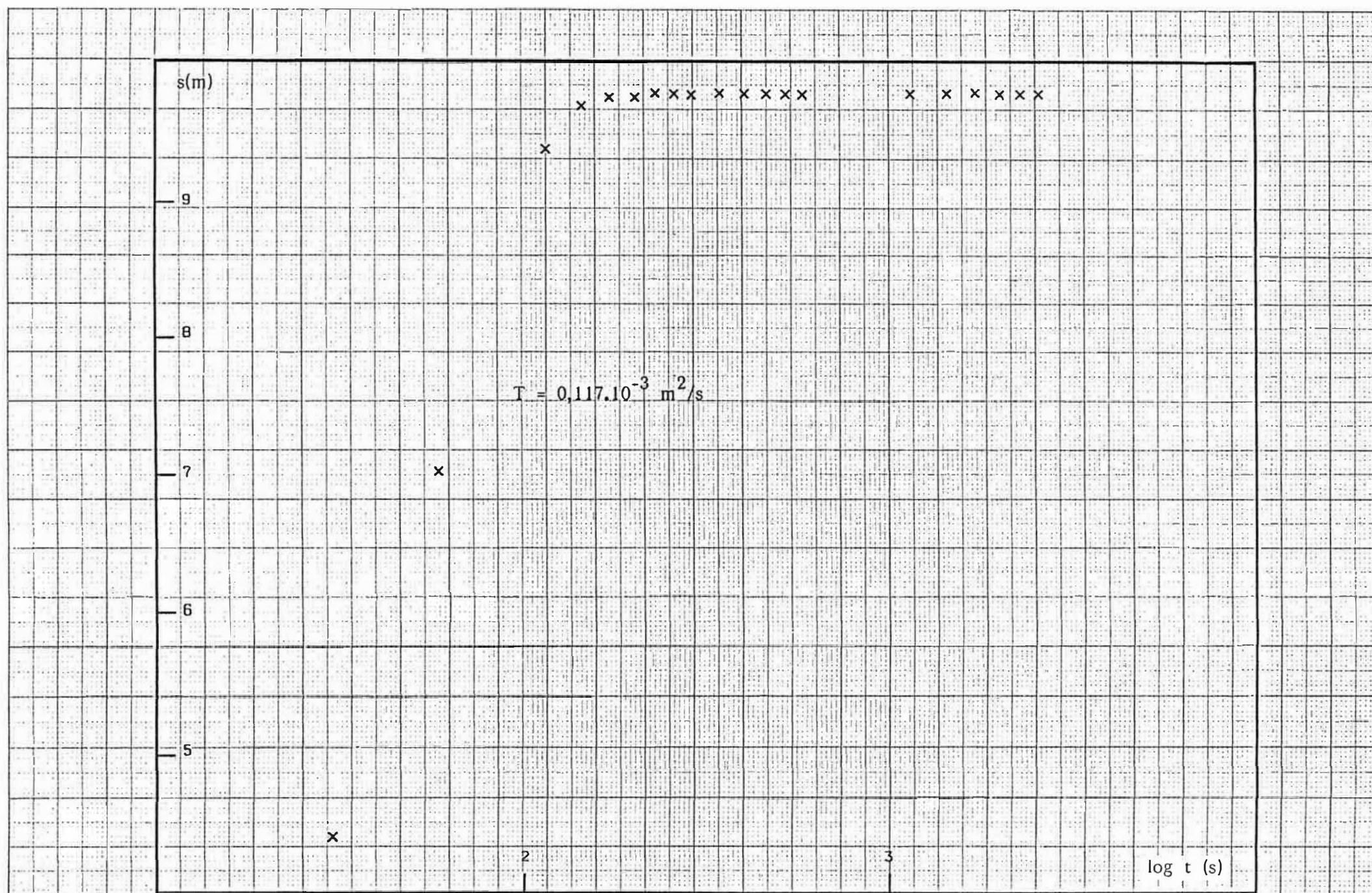


Fig. 65 - KAMINA III - Rabattement et détermination de la transmissivité T ($Q = 18,93 m^3/h$)

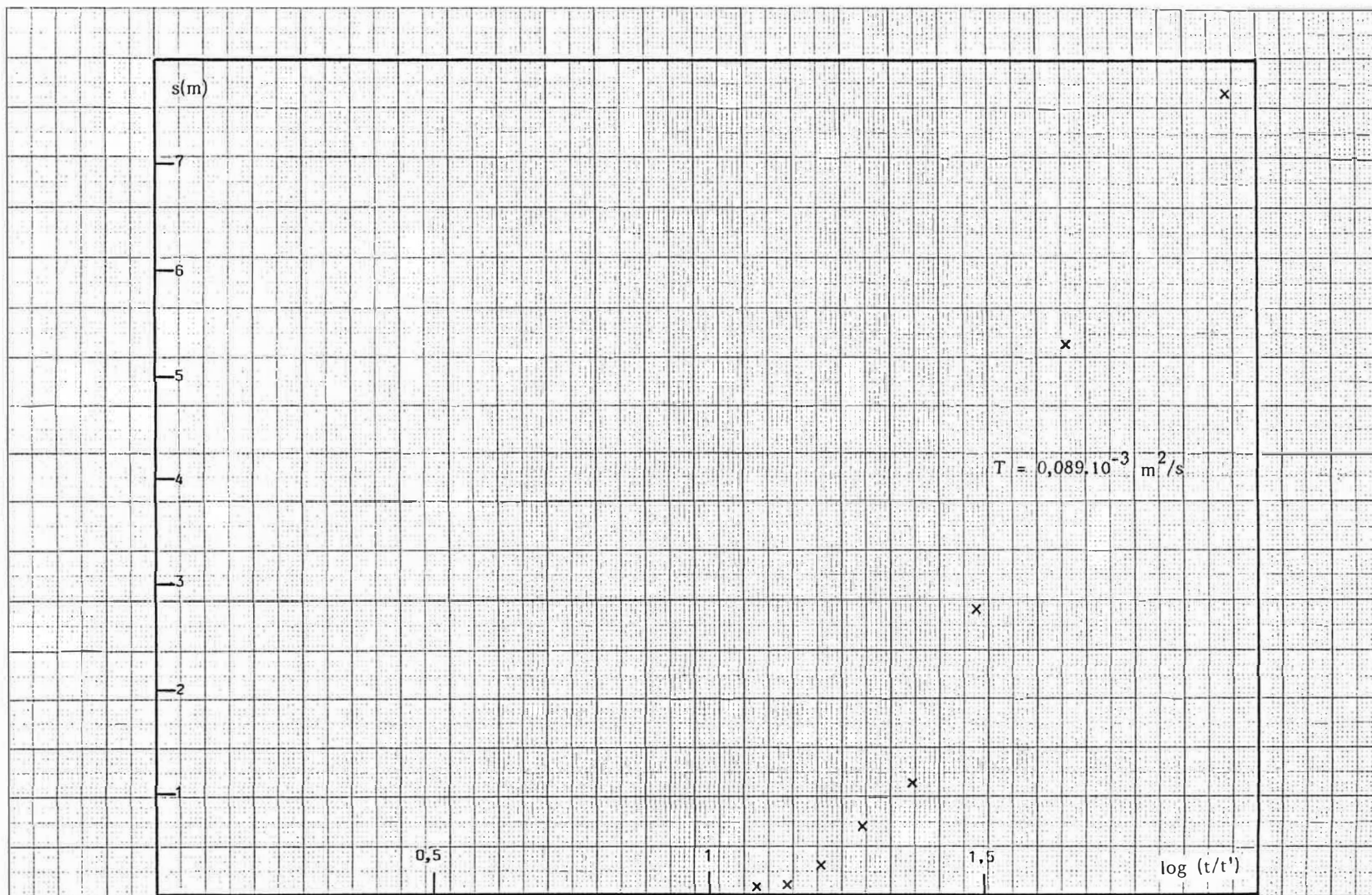
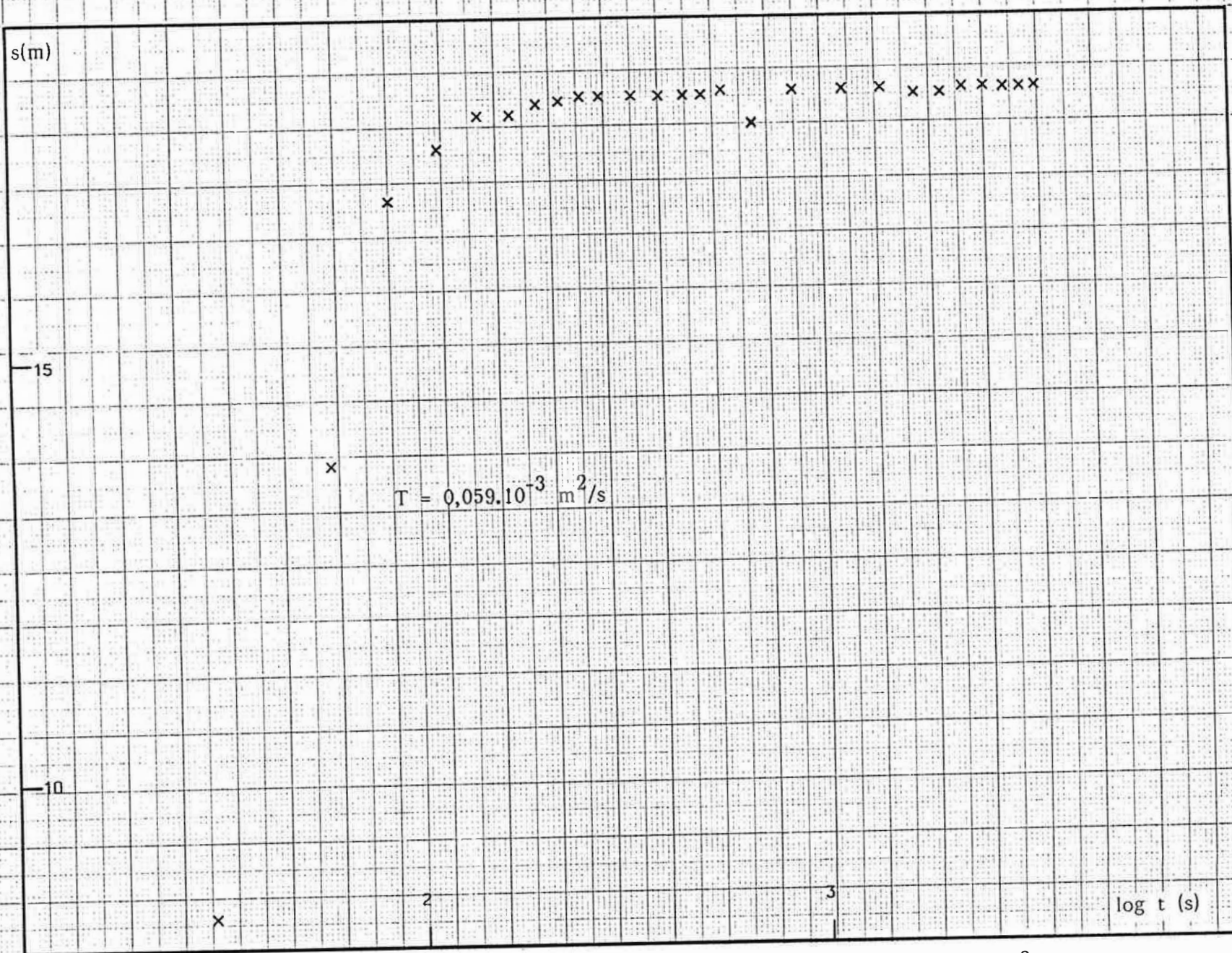


Fig. 66 - KAMINA III - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 18,93 \text{ m}^3/\text{h}$)



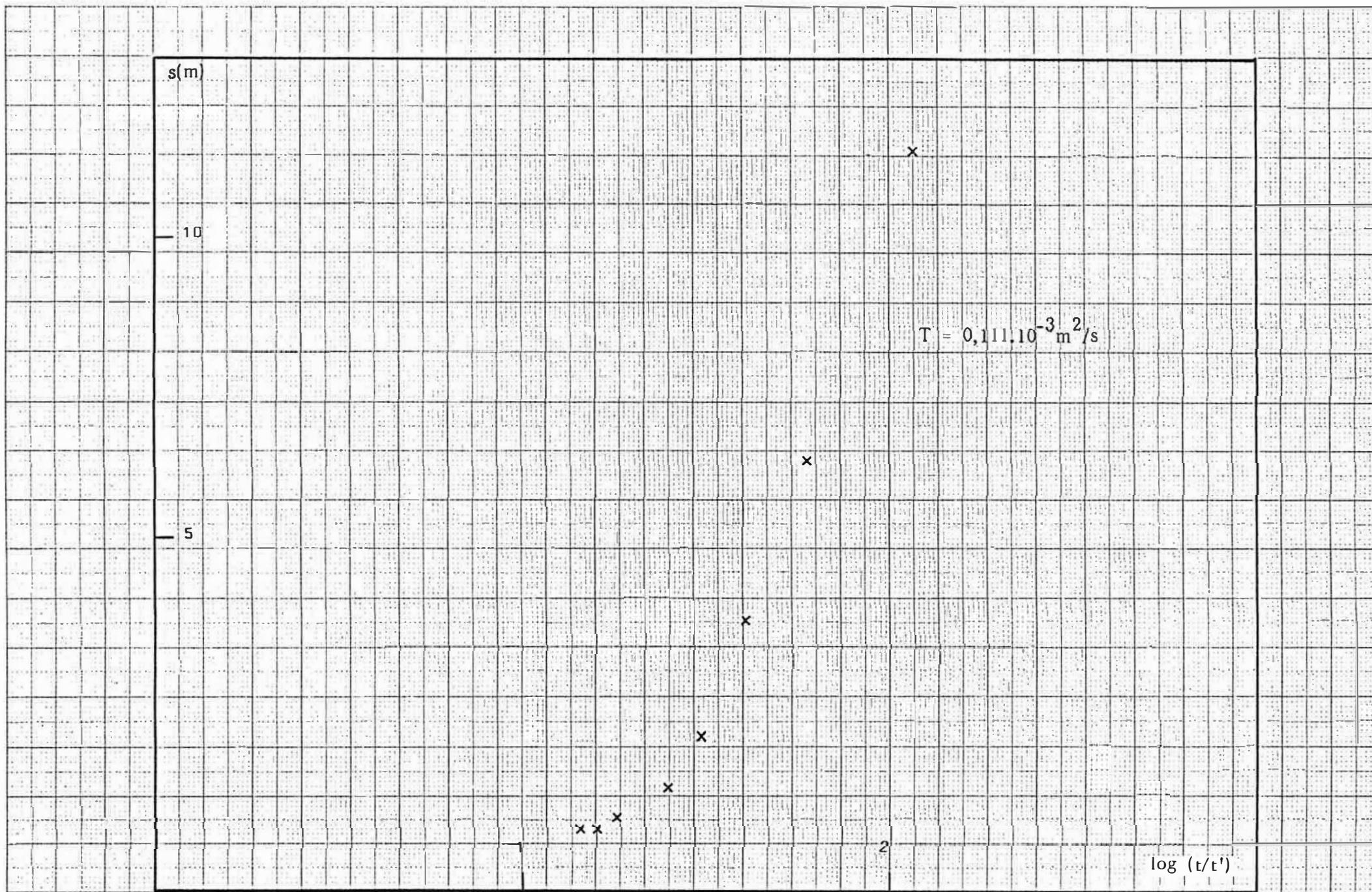


Fig. 68 - KAMINA III - Remontée et détermination de la transmissivité T ($Q = 36,44 \text{ m}^3/\text{h}$)

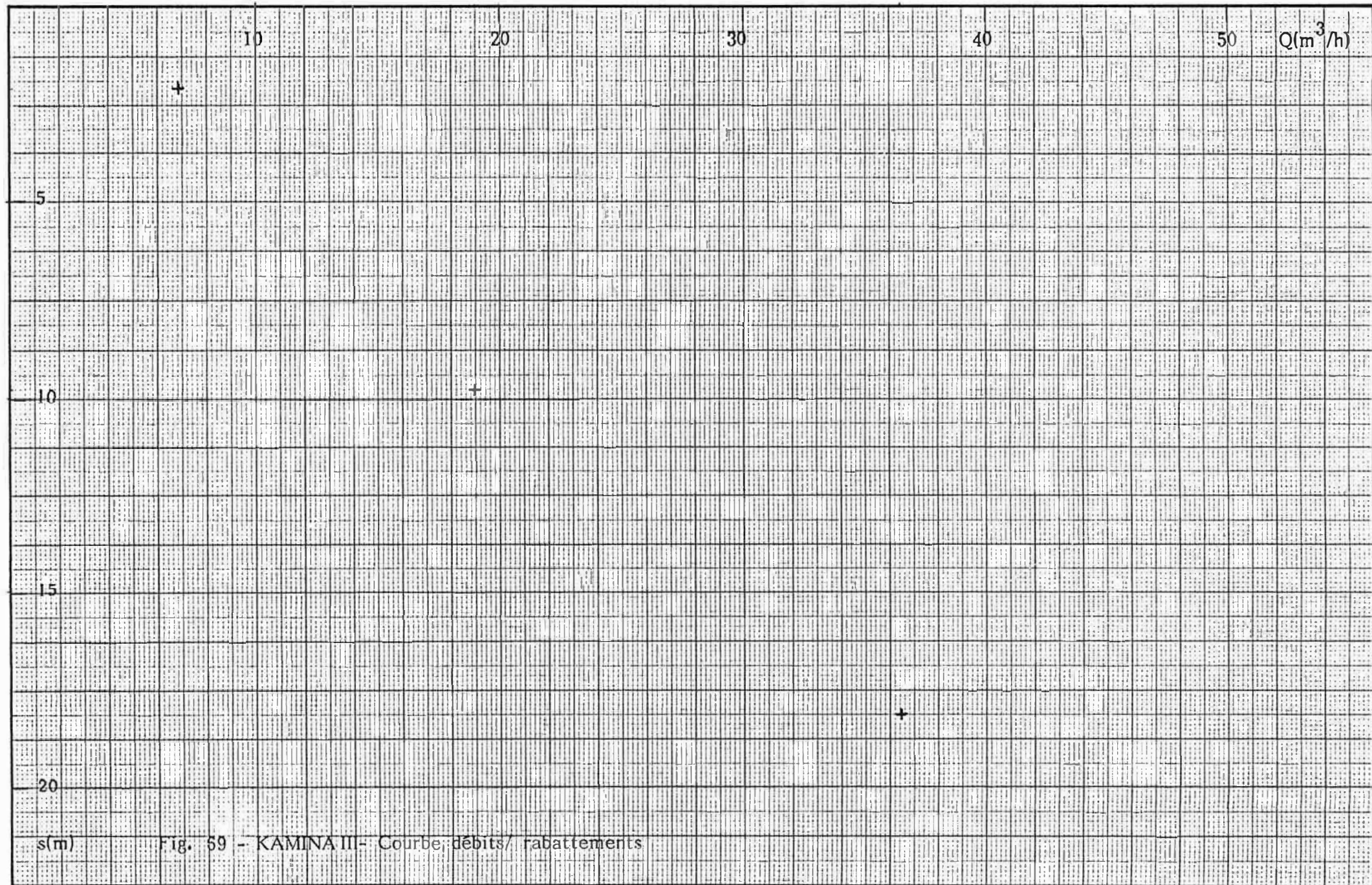


Fig. 59 - KAMINA III- Courbe débits/ rabattements

Fig. 70 - KAMINA III - Courbe $s/Q = f(Q)$



$$C = \frac{0.0601}{10} = 0.00601$$

$$B = 0.315$$

0.350

0.400

0.450

0.500

s/Q

$Q (m^3/h)$

x

x

x

Le pourcentage des pertes de charge dû à l'écoulement laminaire est $(BQ/s) \cdot 100 = (12,6/22,216) \cdot 100 = 56,7 \%$.

3.6.4.4.5. Essai de sable

Après un développement par air-lift pendant 40 heures et un pompage pendant 113 1/2 heures, l'eau était claire et exempte de sable.

3.6.4.4.6. L'analyse physico-chimique de l'eau

A la fin de l'essai de pompage, deux échantillons d'environ 1 litre chaque ont été prélevés (3 juillet 1987). Les analyses ont été faites à BRUXELLES. Les résultats des analyses complètes sont représentés sur le tableau 31.

L'eau est caractérisée par une minéralisation très faible (cf. conductivité et teneurs des différents ions).

La faible valeur du pH (5,0) est due à la teneur élevée (plus de 100 mg/l) en CO_2 .

On notera la valeur relative importante de la concentration en Zn.

La classification selon la méthode de PIPER est représentée dans le tableau 32 et sur la figure 71.

Tableau 31 - KAMINA III - Analyse chimique de l'eau de la nappe infragrèseuse et infragranitique.

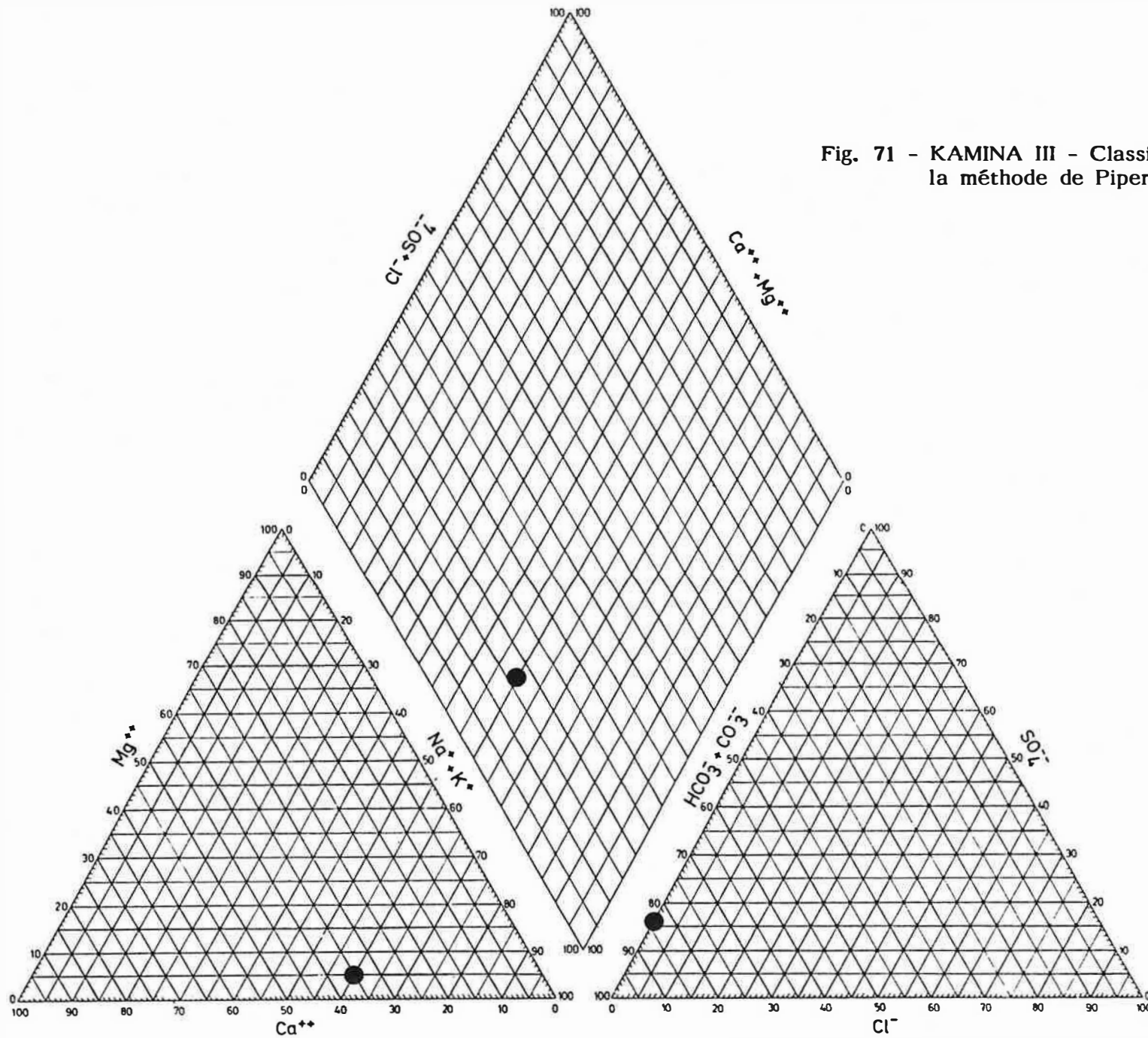
Elément ou ion	Valeur (ppm)
Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	0
pH	5,0
Ca	0,8
Mg	0,1
Na	0,6
K	0,5
Fe	0,0346
Mn	0,0105
Al	0,011
Pb	0,0145
Cd	0,0005
Cu	0,0101
Ni	0,0041
As	0
Ba	0,0177
Cr	0
Zn	0,7358
Ag	0,0004
P	0,0029
Se	0
C	0
Sb	0
Li	0
B	0
SiO ₂	11,4
Sr	0,0055
Cl	traces
SO ₄	0,2
NO ₃	traces
NO ₂	0
HCO ₃	1
CO ₃	0
CO ₂ libre	100

Tableau 32 - KAMINA III - Classification selon la méthode de PIPER

$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	55,0 %	Cl^-	0,0 %
Mg^{2+}	5,0 %	$\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$	83,3 %
Ca^{2+}	40,0 %	SO_4^{2-}	16,7 %

Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS. Une aération de l'eau ramènera le pH (actuellement = 5) à une valeur acceptable.

Fig. 71 - KAMINA III - Classification selon la méthode de Piper



3.7. CONCLUSION

L'alternance saison des pluies et saison sèche est la principale caractéristique climatologique de la région. Les températures moyennes mensuelles sont toujours situées entre 21 et 23° C. La hauteur d'eau moyenne tombée annuellement dans la région de KAMINA est de 1350 mm.

La région de KAMINA est située en bordure méridionale du bassin du ZAIRE. La ville est située sur un plateau à 1100 m d'altitude. Au Sud de la ville le plateau est coupé par la vallée de la LOVOI.

Le substratum rocheux que l'on trouve entre 35 et 60 m de profondeur est constitué de granite. Ce soubassement granitique est surmonté par les formations du KALAHARIEN :

- KALAHARIEN inférieur : 20 à 30 m de grès polymorphes.
- KALAHARIEN supérieur : 10 à 20 m de sable fin.

La REGIDESO exploite à ce jour 7 puits dont 6 ont été creusés jusque dans le grès; le dernier a été limité à une profondeur de 16 m. Ces puits fournissent entre 1800 et 2400 m³/j. La seule potentialité aquifère souterraine suffisante est celle des sables, grès et granite fracturé située au Nord de KAMINA.

Selon la reconnaissance géoélectrique, l'essentiel de la nappe se trouve dans les grès et les sables fins et la meilleure transmissivité dans les grès fracturés. Il y a 3 zones favorables avec une résistance transversale située entre 90000 et 200000 ohm.m².

De l'analyse des résultats des forages, il ressort que :

- les grès du Kalaharien se trouvent entre 22 et 25 m de profondeur,

- le sommet du granite ou de l'argile d'altération provenant des granites se trouve entre 33 et 60 m de profondeur (La géophysique indique localement des profondeurs de 75 m). La surface du soubassement anté-Kibarien, altéré ou non altéré est donc irrégulière et est marquée par un paléo-relief accidenté. Les creux sont comblés par les grès du KALAHARIEN du Paléogène.

L'aquifère est situé dans les grès fissurés et dans le granite fissuré. La fissuration du granite jusqu'à au moins 60 m de profondeur est attestée par les pertes de boues jusqu'à ce niveau et par les fréquentes augmentations et ralentissement de la vitesse de forage à hauteur des granites.

Les transmissivités varient de $0,13.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (KAMINA III), $0,31.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ à KAMINA I à $1,39.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (KAMINA II).

La raison de l'échec des forages réalisés antérieurement est :

- leur profondeur insuffisante
- leur implantation en zone défavorable.

Des résultats de l'analyse d'eau il ressort que :

- l'eau de KAMINA est très faiblement minéralisée, comme l'attestent les mesures de conductivité et les teneurs des différents ions; ces concentrations sont normales pour des nappes souterraines infragranitiques et infragrèseuses;
- la faible valeur du pH de l'eau (5,0) est due à la teneur élevée (plus de 100 mg/l) en CO_2 . Celui-ci peut aisément être éliminé par aération de l'eau;
- toutes les concentrations en éléments sont largement en dessous des valeurs recommandées par l'OMS;
- Les valeurs relativement importantes des concentrations en Zn, Fe et Pb sont parfaitement acceptables.

4. CONCLUSION GENERALE

4.1. LUBUMBASHI

On retiendra la zone du CAMPUS car les débits spécifiques sont acceptables et elle est proche des installations de la REGIDESO. L'exploitation doit être limitée afin de ne pas influencer les sources de KASAPA.

Un massif filtrant adéquat et un développement prolongé seront nécessaires ainsi qu'une zone de protection afin d'éviter toute pollution de l'aquifère.

La zone de KAFUBU est à retenir car les débits spécifiques sont importants, l'aquifère est vierge d'exploitation et a des ressources renouvelables importantes. Il s'agit d'un aquifère idéal, mais qui, vu son éloignement (12 km) ne peut être retenu que pour les besoins à moyen et long terme.

La zone de KARAVIA est à rejeter car les débits spécifiques y sont faibles et à terme les sources de KIMILOLO, sous l'influence de l'exploitation, pourraient se tarier à certaines périodes de l'année.

La qualité de l'eau est caractérisée par une minéralisation bicarbonatée calcique et magnésienne. La dureté totale varie entre 14°F et 26°F. L'eau ne contient que peu ou pas de chlorures, sulfates et nitrates.

Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS sauf le manganèse (CAMPUS) et le sélénium (KAFUBU).

4.2. KAMINA

L'aquifère est situé dans les grès fissurés et dans le granite fracturé.

La zone la plus favorable est la zone I, malheureusement elle est assez éloignée de KAMINA (8 km). Les zones II et III sont

aussi favorables.

La zone à retenir pour l'exploitation est la zone III, car elle est la plus proche de KAMINA; elle sera exploitée sur une surface suffisante afin de ne pas compromettre la réalimentation de la nappe. Il sera tenu compte des besoins à l'an 2005.

L'eau de KAMINA est très faiblement minéralisée. La faible valeur du pH est due à une teneur élevée en CO_2 . Par une aération elle peut être ramenée à une valeur acceptable. Aucun élément ne dépasse la valeur recommandée par l'OMS.

BIBLIOGRAPHIE

- BIERSCHENK, W.H., (1964). Determining well efficiency by multiple step-drawdown tests. Intl. Assoc. Sc. Hydrology Publ. 64, pp. 493-507.
- BURGER, A. & DUBERTRET, L. (red.) (1975). Hydrogeology of karstic terrains - Hydrogéologie des terrains karstiques. Int. Assoc. Hydrogeologists, Paris, 190 p.
- CARTE GEOLOGIQUE DU KATANGA MERIDIONAL au 1/1 000 000 (1949) Nouv. Mém. Soc. Belge Géol., Paléont., Hydr., n° 2.
- CASTANY, G., (1968). Prospection et exploitation des eaux souterraines. Dunod, Paris, 717 p.
- CIBE/TRACTIONEL ELECTROBEL ENGINEERING (1987). Etude de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Kamina-Ressources en eau. Rapport pour la REGIDESO, Zaïre, août.
- CIBE/TRACTIONEL ELECTROBEL ENGINEERING (1987). Etude de l'approvisionnement en eau potable de la ville de Lubumbashi-Ressources en eau. Rapport pour la REGIDESO, Zaïre, septembre.
- DRISCOLL, F.G. (1986) Groundwater and Wells. Johnson Division, St. Paul, Minnesota, 1089 p.
- EAGON, H.B. & JOHE, D.E. (1972). Practical Solutions for Pumping Tests in Carbonate Rock Aquifers, Groundwater, vol. 10, n° 4, july-august.
- GIBSON, P.U. & SINGER, D.R. (1971). Water well manual - A practical guide for locating and constructing wells for individual and small community water supplies. Premier Press, Berkeley, California, 156 p.
- INGENIEURS CONSEILS (1976). Adduction d'eau de la ville de KAMINA - Dossier d'appel d'offres. Cahier II - Mémoire descriptif - Bordereau des plans. Darmstadt, 42 p.
- KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER, N.A. (1979). Analysis and evaluation of pumping test data. Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, 200 p.
- LA MOREAUX, Ph. E., MORERE W.B. & MEHON, B.A. (1984). Guide to the hydrology of carbonate rocks. Studies and reports in hydrology, 41, UNESCO, Paris, 347 p.
- LEGENDE GENERALE DE LA CARTE GEOLOGIQUE DU CONGO BELGE ET DU RUANDA-URUNDI A L'ECHELLE DU 5 000 000^e (1938). Min. des Colonies, Bruxelles, 11 p.

ROBERT, M. (1929). Carte géologique du KATANGA, Publ. com. sp. du Katanga, Le beigue & Cie, Bruxelles.

ROBERT, M. (1939). Contribution a la morphologie du Katanga. Les cycles géographiques et les pénéplaines. Extrait des Mém. Inst. Roy. Col. Belge - Sct. Sc. Nat. & Méd., IX.

RORABAUGH, M.I. (1953). Graphical and theoretical analysis of stepdrawn test of artesian well. Proceeding, Am. Soc. Civil Engineers, 79, sept., 362, pp. 23.

TODD, D.K. (1980). Groundwater Hydrology, John Wiley, New York, 535 p.

UHL, V.W. & SCHARMA, G.K. (1978). Results of Pumping Tests in Crystalline-Rock Aquifers, Groundwater, vol. 16, n° 3, may-june.